



TUGAS AKHIR – TM141585

PENGARUH *BIFILM* TERHADAP KEKUATAN TARIK, *IMPACT STRENGTH*, DAN KEKERASAN PADUAN ALUMINIUM ADC12

Leonard
NRP. 02111440000061

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**PENGARUH *BIFILM* TERHADAP KEKUATAN TARIK,
IMPACT STRENGTH, DAN KEKERASAN PADUAN
ALUMINIUM ADC12**

Leonard
NRP. 02111440000061

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM141585

**EFFECT OF BIFILM ON TENSILE STRENGTH,
IMPACT STRENGTH, AND HARDNESS OF ADC12
ALUMINIUM ALLOY**

Leonard

NRP. 02111440000061

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

**PENGARUH BIFILM TERHADAP KEKUATAN TARIK,
IMPACT STRENGTH, DAN KEKERASAN PADUAN
ALUMINIUM ADC12**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

LEONARD

NRP. 02111440000061

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA
NIP. 196308151989032001 (Pembimbing)
2. Dr. Eng Sutikno, ST, MT
NIP. 197407032000031001 (Penguji I)
3. Fahmi Mubarak, ST, M.Sc., PhD.
NIP. 197801152003121002 (Penguji II)
4. Indra Sidharta, ST, M.Sc.
NIP. 198006192006041004 (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2018

PENGARUH *BIFILM* TERHADAP KEKUATAN TARIK, *IMPACT STRENGTH*, DAN KEKERASAN PADUAN ALUMINIUM ADC12

Nama Mahasiswa : Leonard
NRP : 02111440000061
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Abstrak

Kualitas dari aluminium hasil pengecoran salah satunya dinilai dari sifat mekanik yang dimiliki oleh produk akhir hasil dari pengecoran tersebut. Sifat mekanik tersebut secara langsung akan dipengaruhi oleh jumlah cacat pengecoran dalam logam. *Bifilm* adalah salah satu cacat pengecoran yang belum cukup mendapat perhatian dalam dunia pengecoran saat ini. Cacat ini terbentuk akibat oksida yang melipat dan masuk ke dalam aluminium cair karena adanya olakan pada aluminium cair. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh *bifilm* terhadap sifat mekanik dari aluminium hasil pengecoran.

Tujuan dari penelitian kali ini adalah mengetahui pengaruh *bifilm* terhadap sifat mekanik dari hasil pengecoran paduan aluminium ADC12. Penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian utama yaitu pengecoran spesimen yang dilakukan bersamaan dengan *Reduced Pressure Test* (RPT) serta pengujian kekuatan tarik, *impact strength*, dan kekerasan. Pada saat proses pengecoran, aluminium cair akan diberi 3 perlakuan lama pengadukan yang berbeda dan akan dilakukan RPT pada sampel yang diambil dari masing-masing perlakuan tersebut. Dari perlakuan berbeda tersebut diharapkan akan diperoleh nilai *bifilm index* yang berbeda pada masing-masing sampel. Setelah spesimen terbentuk maka dilakukan uji tarik, *impact*, dan kekerasan.

Dari penelitian ini ditarik kesimpulan bahwa adanya *bifilm* memberi pengaruh terhadap kekuatan tarik, *impact strength*, serta kekerasan dari paduan aluminium ADC12. Meningkatnya nilai

bifilm index akan menyebabkan menurunnya kekuatan tarik serta kekerasan *dari paduan aluminium ADC12*, sedangkan *impact strength* akan turun pada nilai *bifilm index* tertentu.

Kata Kunci: aluminium, ADC12, bifilm, kekuatan tarik, impact strength, Kekerasan, RPT, pengecoran

EFFECT OF BIFILM ON TENSILE STRENGTH, IMPACT STRENGTH, AND HARDNESS OF ADC12 ALUMINIUM ALLOY

Nama Mahasiswa : Leonard
NRP : 02111440000061
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

Abstrak

One of the ways to evaluate the quality of cast aluminum is from its mechanical properties. These mechanical properties will be directly affected by the number of defects on the product. Bifilm is one of the casting defects that has not received enough attention in the casting world. This defect is formed by the oxide that folds and enters the molten aluminum due to the swirling of the aluminium liquid. Therefore, a research needs to be done on the effect of bifilm on the mechanical properties of cast aluminium.

The goal of this research is to discover the effect of bifilm on the tensile strength, impact strength, and hardness of cast ADC12 aluminum alloy. This research was divided into two main parts namely the casting of the samples which was carried out simultaneously with Reduced Pressure Test (RPT) and the testing of the tensile strength, impact strength, and the hardness of the samples. At the time of casting, the molten aluminum will be treated to three different stirring duration and RPT will be carried out on the samples taken from each treatment. It is hoped that from these different treatments, various value of bifilm index will be obtained. After the samples are produced, tensile, impact, and hardness tests are carried out on the samples.

From this research, it was concluded that the presence of bifilm had an effect on the tensile strength, impact strength, and hardness of ADC12 aluminum alloy. Increase of bifilm index will lower the tensile strength and hardness of ADC12 aluminum alloy, while impact strength will lower at certain value of bifilm index.

Keyword: aluminum, ADC12, bifilm, tensile strength, impact strength, Hardness, RPT, pengecoran

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENGARUH BIFILM TERHADAP KEKUATAN TARIK, IMPACT STRENGTH, DAN KEKERASAN PADUAN ALUMINIUM ADC12”**. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA sebagai dosen pembimbing yang telah membantu, mendorong, dan memberikan ilmu hingga terselesaikannya tugas akhir ini;
2. Bapak Indra Sidharta, ST., M.Sc., Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST., MT., dan Bapak Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph. D selaku dosen penguji seminar dan sidang tugas akhir ini;
3. Kedua orang tua penulis, Susilowati Kristiono dan Herman Yosef (alm), serta saudara kandung penulis Adrianus dan Natasha Cresentia yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat yang berarti;
4. Teman-teman satu angkatan penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas bantuan, masukan, dan dukungan yang diberikan;
5. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Mesin ITS, yang telah memberikan bantuan dan ilmunya selama penulis menempuh jejang kuliah

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Agustus 2018

Penulis

(Halaman sini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Abstrak	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II.....	7
2.1 Aluminium dan Paduannya.....	7
2.2 Pengecoran Logam	10
2.3 Pengecoran Aluminium	12
2.4 Sistem Saluran (<i>Gating System</i>)	15
2.5 Penambah (<i>Riser</i>)	16
2.6 <i>Bifilm Index</i>	17
2.7 Kualitas Logam Hasil Pengecoran.....	18
BAB III.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian	25
3.2 Peralatan	26
3.3 Langkah – Langkah Penelitian	26
3.3.1 Studi Literatur.....	26
3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan	26
3.3.3 Pembuatan Cetakan Uji Tarik, Impact, dan Hardness	
27	
3.3.4 Peleburan <i>Ingot</i>	28
3.3.5 Reduced Pressure Test.....	30

3.3.6	Pengujian Kekuatan Tarik	31
3.3.7	Pengujian <i>Impact</i>	32
3.3.8	Pengujian Kekerasan	33
3.3.9	Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan Energy-dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)	33
BAB IV	.....	35
4.1	<i>Reduced Pressure Test (RPT)</i>	35
4.2	Pengujian Tarik	38
4.3	Hasil Uji Impact	45
4.4	Uji Kekerasan	52
4.5	Pengamatan Visual	55
4.5.1	Penampang Melintang Spesimen Uji	55
4.5.2	Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik	56
4.6	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan Energy- dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)	58
BAB V	.....	63
DAFTAR PUSTAKA	.....	65
LAMPIRAN	.....	68
LAMPIRAN A	.....	68
LAMPIRAN B	.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium [7]	14
Gambar 2. 2 Skema Hidrogen Terlarut yang Berasal dari Reaksi Uap Air di Atmosfer dengan Aluminium Cair [7]	15
Gambar 2. 3 Bagian-bagian Gating System [9]	15
Gambar 2. 4 Side Riser dan Top Riser [11].....	17
Gambar 2. 5 <i>Gas Porosity</i> [12].....	19
Gambar 2. 6 Grafik Relasi Temperatur dan Volum Logam pada Pengecoran [6]	19
Gambar 2. 7 Sink [12]	20
Gambar 2. 8 Dross [13]	21
Gambar 2. 9 Mekanisme Terbentuknya Bifilm [5].....	21
Gambar 2. 10 Confluence Geometry [5]	22
Gambar 2. 11 (a) Bifilm Baru Terbentuk; (b) Bifilm dengan Gas Terperangkap; (c) Bifilm dengan Flux Terperangkap; (d) Bifilm dengan Pengotor Terperangkap; (e) Bifilm dengan Pasir Terperangkap [6]	23
Gambar 2. 12 Bifilm dilihat dengan SEM (tanda panah merah) [6]	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2 Crucible A10 [14]	27
Gambar 3. 3 Gambar Teknik Cetakan Spesimen Uji Tarik, Impact, dan Kekerasan	28
Gambar 3. 4 Dimensi Cetakan Reduced Pressure Test	30
Gambar 3. 5 Mesin Reduced Pressure Test	30
Gambar 3. 6 Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	32
Gambar 3. 7 Dimensi Spesimen Uji <i>Impact</i>	32
Gambar 4. 1 Spesimen RPT untuk logam cair dengan waktu pengadukan (a) tanpa pengadukan ; (b) 3 menit ; (c) 5 Menit ; (d) ingot	35
Gambar 4. 2 (a) Foto Spesimen RPT (tanpa pengadukan) yang sudah diproses dengan image analysis ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah).....	36

Gambar 4. 3 (a) Foto Spesimen RPT (pengadukan 3 menit) yang sudah diproses dengan image analysis ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah).....	37
Gambar 4. 4 (a) Foto Spesimen RPT (pengadukan 5 menit) yang sudah diproses dengan image analysis ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah).....	37
Gambar 4. 5 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi Kekuatan Tarik	44
Gambar 4. 6 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi Impact Strength	51
Gambar 4. 7 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi Nilai Kekerasan.....	54
Gambar 4. 8 Permukaan Bagian Dalam spesimen hasil uji tarik ; (a) Tanpa Pengadukkan ; (b) Pengadukkan 3 Menit ; (c) Pengadukkan 5 menit ; (d) Ingot	55
Gambar 4. 9 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen A3 ..	56
Gambar 4. 10 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen B3 ..	57
Gambar 4. 11 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen C1 ..	57
Gambar 4. 12 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen D2	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Tinjauan Pustaka Penelitian Terdahulu	1
Tabel 2. 1 Sistem empat digit untuk aluminium dan paduannya [3].....	8
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Paduan Aluminium ADC12 [4]	9
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC12 [4].....	9
Tabel 2. 4 Sifat Fisik Paduan Aluminium ADC12 [4].....	9
Tabel 2. 5 Langkah Pembuatan Cetakan Pasir [1]	11
Tabel 3. 1 Dimensi dan Kapasitas Crucible A10	27
Tabel 3. 2 Pengkondisian Kualitas Aluminium Cair	29
Tabel 4. 1 Bifilm Index Masing-masing Spesimen RPT	38
Tabel 4. 2 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen O (Ingot)	39
Tabel 4. 3 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen A (Tanpa Pengadukkan).....	39
Tabel 4. 4 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen B (3 Menit Pengadukkan)	40
Tabel 4. 5 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen C (5 Menit Pengadukkan)	41
Tabel 4. 6 Data Hasil Uji Tarik	43
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik Masing-masing Spesimen	44
Tabel 4. 8 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen O (Ingot)	45
Tabel 4. 9 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen A (Tanpa Pengadukkan).....	46
Tabel 4. 10 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen B (Pengadukkan 3 Menit)	47
Tabel 4. 11 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen C (Pengadukkan 5 Menit)	48
Tabel 4. 12 Data Hasil Uji Impact	49
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Impact Strength Masing-masing Spesimen	50
Tabel 4. 14 Posisi Indentasi Spesimen Uji Kekerasan	52

Tabel 4. 15 Data Hasil Uji Kekerasan	52
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Nilai Kekerasan Masing-masing Spesimen	54
Tabel 4. 17 SEM dan EDS Hasil RPT Spesimen A	59
Tabel 4. 18 SEM dan EDS Hasil RPT Spesimen C	60
Tabel 4. 19 SEM dan EDS Hasil Uji Tarik Spesimen A.....	61
Tabel 4. 20 SEM dan EDS Hasil Uji Tarik Spesimen C	62

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium adalah elemen metal yang paling banyak terdapat di dalam kerak bumi. Bobot yang ringan dari aluminium adalah daya tarik utama yang menyebabkan logam ini banyak digunakan. Logam ini sangat sering digunakan dalam industri otomotif, dirgantara, maritim, dan struktur. *Casting* atau pengecoran adalah metode produksi aluminium yang sangat sering digunakan dan mencakup 20-25% dari produksi tahunan aluminium di dunia. [1]

Kualitas dari aluminium hasil pengecoran salah satunya dinilai dari sifat mekanik yang dimiliki oleh produk akhir hasil dari pengecoran tersebut. Sifat mekanik tersebut secara langsung akan dipengaruhi oleh jumlah cacat pengecoran dalam logam. Salah satu bentuk cacat dalam pengecoran yang masih belum cukup mendapat perhatian adalah *bifilm*. Cacat ini sangat mudah terbentuk dalam pengecoran, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh *bifilm* terhadap sifat mekanik dari aluminium hasil pengecoran. Sifat mekanik yang akan diuji pada penelitian ini adalah kekuatan tarik, *impact strength*, dan kekerasan. Rangkuman penelitian yang pernah dilakukan mengenai hubungan antara *bifilm* dengan sifat mekanik dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Tinjauan Pustaka Penelitian Terdahulu

Jurnal	Metodologi	Kesimpulan
Judul: <i>CORRELATION BETWEEN BIFILM INDEX AND TOUGHNESS OF ALUMINIUM ALLOYS</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jenis paduan yang digunakan adalah A356. 2. Terdapat 2 jenis perlakuan berbeda yang diberikan pada aluminium cair: 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketangguhan berkurang seiring meningkatnya nilai <i>bifilm index</i>. • Kadar hidrogen yang rendah bukan indikasi sifat mekanik yang baik dari logam cor.

Jurnal	Metodologi	Kesimpulan
<p>Peneliti : Derya Dispinar, Cem Kahruman, John Campbell</p> <p>Tujuan: Mengetahui efek dari konten hidrogen dan <i>bifilm</i> terhadap ketangguhan paduan aluminium A356</p> <p>Tahun : 2014</p>	<p>a. Perlakuan 1: kadar hidrogen dikurangi hingga 0.1 cm³/100g dengan metode <i>degassing</i>.</p> <p>b. Perlakuan 2: kadar hidrogen ditingkatkan hingga 0.2 cm³/100g dan 0.4 cm³/100g</p> <p>3. RPT dilakukan pada sampel yang diambil dari kedua perlakuan berbeda tersebut.</p> <p>4. Sampel untuk uji tarik dibuat dengan cetakan pasir sebanyak 10 spesimen.</p> <p>5. Data dari uji tarik diolah dengan program MatLab.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Untuk memperoleh kualitas logam cor yang baik nilai <i>bifilm index</i> harus serendah mungkin.
<p>Judul : <i>Determination of Metal Quality of Aluminium and Its Alloys</i></p>	<p>1. Paduan yang digunakan adalah paduan Al-Si.</p> <p>2. Diambil 3 sampel yang akan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • RPT tidak bagus digunakan untuk menghitung kadar hidrogen dengan

Jurnal	Metodologi	Kesimpulan
<p>Peneliti : Derya Dispinar</p> <p>Tujuan: Menunjukkan RPT dapat menjadi metode analisis kuantitatif untuk menentukan kualitas aluminium hasil pengecoran dan mengaitkan kualitas tersebut dengan sifat mekanik</p> <p>Tahun : 2005</p>	<p>didinginkan pada kondisi berbeda</p> <ol style="list-style-type: none"> Sampel 1: kondisi ruang Sampel 2: kondisi vacuum dengan mesin RPT Sampel 3: Di Severn Science Hyscan Machine untuk menentukan kadar hidrogen <p>Pengambilan sampel dilakukan pada lingkungan laboratorium dan industri.</p> <ol style="list-style-type: none"> Pengukuran densitas sampel RPT. Analisa sampel RPT dengan program <i>image analysis</i>. Uji tarik dengan sampel yang diperoleh dari peleburan ulang <i>ingot</i> dalam cetakan pasir. Analisa hasil uji tarik dengan Weibull Analysis 	<p>metode pengukuran densitas</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Software Image Analysis</i> baik digunakan untuk menghitung <i>bifilm index</i> Perhitungan <i>bifilm index</i> paling baik dilakukan pada sampel yang didinginkan di tekanan 100 mbar Peningkatan <i>bifilm index</i> menyebabkan penurunan <i>elongation</i> tapi peningkatan kekuatan.

Jurnal	Metodologi	Kesimpulan
	7. Uji SEM dan <i>Energy Dispersive Spectrometer</i> 8. Perhitungan <i>bifilm index</i>	

Sesuai rangkuman tersebut, belum ditemukan hubungan jelas antara kekuatan tarik dengan nilai *bifilm index*. Kaitan antara *bifilm* dengan kekerasan maupun *impact strength* juga belum pernah dilakukan. Maka dari itu perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh *bifilm* terhadap sifat mekanik logam pengecoran.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, yang menjadi masalah pokok adalah bagaimana pengaruh *bifilm* terhadap kekuatan tarik, *impact strength*, dan kekerasan dari hasil pengecoran paduan aluminium ADC12.

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh *bifilm* terhadap kekuatan tarik, *impact strength*, dan kekerasan dari hasil pengecoran paduan aluminium ADC12.

1.4 Batasan Masalah

Batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Komposisi kimia dari setiap ingot paduan aluminium ADC12 yang digunakan sama
2. Tidak terjadi reaksi antara cetakan cor dengan spesimen
3. Kecepatan tuang konstan
4. Tinggi penuangan konstan
5. Kualitas paduan aluminium yang dites dengan mesin *Reduced Pressure Test* sama dengan yang dituang ke

dalam cetakan untuk parameter pengkondisian aluminium cair yang sama.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih bagi dunia pengetahuan, yaitu:

1. Bagi dunia industri pengecoran logam serta kalangan akademis, dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan wawasan tentang adanya *bifilm index* sebagai metode kuantifikasi kualitas aluminium hasil pengecoran serta hubungan antara *bifilm* dengan kekuatan mekanik dari hasil pengecoran paduan aluminium ADC12.
2. Bagi kalangan akademisi khususnya mahasiswa termasuk peneliti, dengan adanya penelitian ini, diharapkan mampu memahami dan mengaplikasikan ilmu yang didapat untuk melakukan penelitian serupa kedepan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Aluminium dan Paduannya

Aluminium pertama kali ditemukan pada tahun 1808 oleh Sir Humphry Davy di Britania dalam bentuk tidak murni (*impure*). Pada tahun 1825, Hans Christian Oersted dari Denmark berhasil memproduksi aluminium dalam kuantitas sangat kecil, dan dua tahun kemudian Fredrich Wöhler dari Jerman menemukan proses memproduksi aluminium dalam bentuk bubuk (*powder*) dengan mereaksikan potasium dengan *anhydrous aluminium chloride*. Proses *electrolytic* yang digunakan dalam produksi aluminium saat ini ditemukan pada tahun 1886 oleh Charles Martin Hall dan Paul L.T Héroult. Proses tersebut dinamai *Hall- Héroult process*. Proses tersebut adalah kemajuan yang sangat besar karena berhasil membuka jalan untuk produksi aluminium yang ekonomis. Salah satu tahap penting dalam proses tersebut adalah ekstraksi alumina (Al_2O_3) dari biji bauksit (*ore bauxite*), metode efisien untuk ekstraksi tersebut ditemukan oleh Karl Joseph Bayer pada tahun 1888. Hingga hari ini, proses Bayer dan Hall- Héroult masih menjadi metode paling ekonomis untuk memproduksi aluminium dalam kuantitas besar. [1]

Aluminium sering digunakan pada konstruksi pesawat maupun kendaraan otomotif karena sifatnya yang ringan dan kuat. Massa jenis dari aluminium hanya sebesar 2.700 kg/m^3 jauh lebih rendah dibandingkan massa jenis besi yang bernilai 7.874 kg/m^3 . Kekurangan utama dari aluminium adalah dibutuhkan energi yang besar dalam mengakstrasinya dari bauksit serta kelarutan hidrogen yang tinggi dalam aluminium. [2] Klasifikasi dari jenis aluminium berdasarkan paduannya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sistem empat digit untuk aluminium dan paduannya
[3]

	Current designation	Former designation
Aluminium, 99.00% or greater	1xx.x	
Aluminium alloys grouped by major alloying elements:		
Copper	2xx.x	1xx
Silicon with added copper and/or magnesium	3xx.x	3xx
Silicon	4xx.x	1 to 99
Magnesium	5xx.x	2xx
Zinc	7xx.x	6xx
Tin	8xx.x	7xx
Other element	9xx.x	7xx
Unused series	6xx.x	

Aluminium cor yang sering digunakan adalah paduan Al-Si karena tambahan silikon meningkatkan *fluidity* saat paduan aluminium dalam kondisi cair. Tambahan silikon juga akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, serta meningkatkan *weldability*. Pada paduan Al-Si seringkali ditambahkan tembaga sehingga terbentuk paduan Al-Si-Cu. Tambahan tembaga pada paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan dan *hardenability* dengan proses *age hardening* serta akan meningkatkan *machinability* dari aluminium paduan. [3]

Paduan aluminium ADC12 atau 383 (standar Amerika) adalah paduan yang seringkali digunakan sebagai pengganti dari paduan A380. Paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, berat yang lebih ringan dibanding A380, sifat mekanik yang baik, dan mudah untuk dibentuk dengan proses pengecoran. Paduan aluminium ADC12 biasa digunakan sebagai *chassis* untuk perlengkapan elektronik, *gearbox*, perabotan rumah tangga, serta alat – alat perkakas. Komposisi kimia, sifat mekanik, dan sifat fisik dari aluminium ADC12 berturut-turut dapat dilihat pada tabel 2.2, tabel 2.3, dan tabel 2.4. [4]

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Paduan Aluminium ADC12 [4]

Elemen	Persentase (%)
Aluminium (Al)	80,25-89,5
Tembaga (Cu)	2,0-3,0
Magnesium (Mg)	0,1
Besi (Fe)	1,3
Timah (Sn)	0,15
Nikel (Ni)	0,3
Seng (Zn)	3,0
Mangan (Mn)	0,5
Silikon (Si)	9.5-11.5
Logam Lain	0,5

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC12 [4]

Mechanical Properties	
Tensile Strength	310 MPa
Yield Strength	150 Mpa
Impact Strength	4 J
Hardness	75 HB
Elongation	3.5%
Process	Cold Chamber Die Casting

Tabel 2. 4 Sifat Fisik Paduan Aluminium ADC12 [4]

Physical Properties	
Massa Jenis	2,74 g/cm ³
Titik Leleh ($\pm 50^{\circ}\text{C}$)	549 $^{\circ}\text{C}$
Konduktifitas Termal	96 W/m.K
Koefisien Ekspansi Termal	21,1 $\mu\text{m/m.K}$
Konduktifitas Elektrik	23% IACS

2.2 Pengecoran Logam




Pengecoran adalah suatu metode pembentukan logam yang dilakukan dengan cara melelehkan logam, mencampur unsur paduan, dan diakhiri dengan menuang logam cair ke dalam cetakan. Hingga saat ini pengecoran adalah metode pembentukan logam yang paling banyak digunakan. Beberapa kelebihan dari proses pengecoran dibanding dengan proses pembentukan lain adalah sebagai berikut: [5]



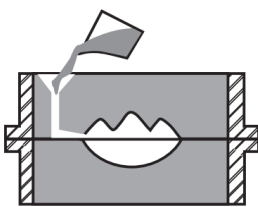
1. Dapat digunakan untuk membuat bentuk yang paling rumit sekalipun
2. Dapat digunakan untuk membentuk logam tertentu yang hanya bisa dibentuk melalui proses pengecoran
3. Proses yang sangat sederhana
4. Dapat digunakan untuk produksi massal
5. Beberapa sifat mekanik logam akan lebih mudah didapat melalui pengecoran
6. Secara umum lebih murah dibanding proses pembentukan lain

Sand Casting adalah proses pengecoran dimana logam cair dituang ke dalam cetakan yang dibuat dari campuran pasir. Proses ini baik untuk produksi dalam jumlah yang kecil, namun seiring perkembangan zaman proses ini mulai digunakan untuk produksi dalam jumlah besar setelah adanya mesin otomatis untuk membuat cetakan pasir. Hasil pengecoran dari sand casting biasanya memiliki permukaan yang kasar dan sering terdapat *impurities* pada permukaannya. Proses ini biasa digunakan untuk memproduksi komponen dalam ukuran sedang ke besar seperti *valve body*, *crankshaft*, dan blok mesin. Akurasi dan *surface finish* dari *sand casting* bergantung dari tipe pasir yang digunakan serta proses pembentukan cetakan. Pola awal yang akan dicetak di pasir dibuat dengan kayu atau plastik dan bisa digunakan berkali-kali, namun cetakan yang dibuat dari pasir biasanya hancur dan tidak bisa digunakan lagi.

Proses pembuatan cetakan pasir diawali dengan membuat kup dan drag. Kup adalah pola bagian atas, dan drag adalah pola bagian bawah. Langkah untuk membuat cetakan pasir dapat dilihat pada tabel 2.1. Setelah cetakan selesai dibuat baru pengecoran dapat dilakukan.

Tabel 2. 5 Langkah Pembuatan Cetakan Pasir [1]

Gambar	Proses	Keterangan
	Kup (pola bagian atas) diletakkan di atas papan cetak	
	Rangka cetak diletakkan dengan mempertimbangkan posisi <i>sprue</i> (saluran tuang)	
	Permukaan pola cetak ditutupi dengan pasir muka setebal 30 mm, dan pasir cetak ditambahkan sampai memenuhi rangka. Setelah itu saluran tuang dibentuk pada cetakkan, lalu pola dilepas dari rangka.	<ul style="list-style-type: none"> • Pasir Muka: Pasir Cetak yang telah diayak dan lebih halus dari pasir cetak • Pasir cetak: ditambahkan diatas pasir muka lalu dipadatkan dengan penumbuk.

Gambar	Proses	Keterangan
	Proses diatas diulangi untuk <i>drag</i> (pola bagian bawah)	
	Rangka bawah yang sudah terbentuk dibalik	
	Rangka bagian atas dan bawah disatukan. Setelah itu proses penuangan logam cair dapat dimulai.	

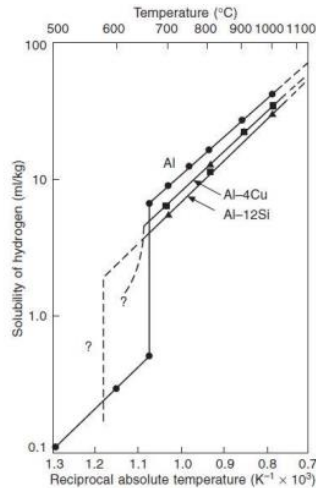
2.3 Pengecoran Aluminium

Dalam pengecoran, paduan Aluminium dibagi menjadi 2 jenis, yaitu paduan aluminium primer, dan paduan aluminium sekunder. Paduan aluminium primer adalah paduan yang dibuat dari logam baru yang diambil langsung dalam bentuk bijih (*ore*), sedangkan paduan aluminium sekunder diambil dari logam yang telah didaur ulang atau dilebur kembali. Sebagian besar dari produk pengecoran aluminium adalah paduan aluminium sekunder karena tipe produksi sekunder jauh lebih ekonomis dibanding primer. Paduan aluminium sekunder memiliki kekurangan yaitu kadar oksida dan *impurity* yang lebih tinggi dibanding primer. Paduan aluminium

primer hanya digunakan untuk aplikasi tertentu seperti kedirgantaraan dan kelautan yang membutuhkan kehandalan yang tinggi. [6]

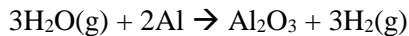
Dalam melebur aluminium ada banyak hal yang harus diperhatikan untuk menghindari terjadinya banyak cacat dan penurunan sifat mekanik pada produk hasil cor yang disebabkan oleh terbentuknya oksida, terlarutnya gas hidrogen, dan masuknya inklusi. Sering kali terdapat inklusi pada *secondary aluminium* yang merupakan paduan aluminium dengan bahan dasar aluminium daur ulang. Perlu perhatian khusus dalam melakukan peleburan *secondary aluminium* karena proses yang kurang tepat ditandai dengan banyaknya inklusi pada cairan aluminium. [1] Inklusi ini dapat berupa oksida, dan *non-metallic inclusion*.

Satu-satunya elemen gas terlarut pada aluminium cair yang cukup memberikan dampak buruk terhadap hasil cor adalah hidrogen. Keberadaan hidrogen yang terlarut dalam aluminium cair ini dapat menyebabkan terjadinya pori di dalam padatan aluminium. Kelarutan dari hidrogen pada aluminium dan paduannya meningkat dengan naiknya suhu seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Konsentrasi hidrogen mengalami perubahan yang signifikan pada saat proses perubahan fasa aluminium dari padat menjadi cair, dan sebaliknya.

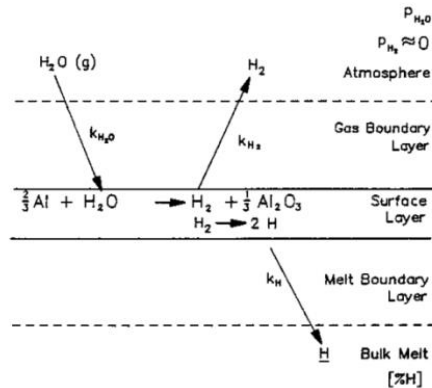


Gambar 2.1 Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium [7]

Penyebab utama adanya keberadaan hidrogen ini adalah kandungan uap air di udara bebas. Cawan lebur dan cetakan umumnya memiliki kadar uap air tertentu yang menempel pada permukaannya dan akan menambah kandungan hidrogen di dalam logam cair. Dalam keadaan cair aluminium memiliki kelarutan yang sangat tinggi terhadap hidrogen dan akan dengan mudah bereaksi dengan uap air untuk membentuk oksida dan gas hidrogen sesuai dengan persamaan 2.1.



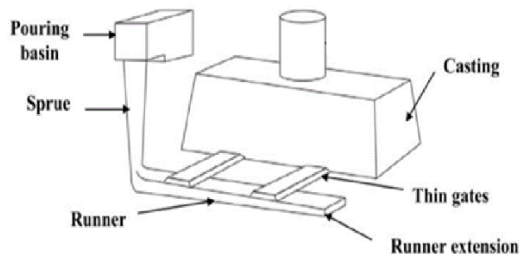
Sebagian atom hidrogen masuk ke dalam aluminium cair, dan sebagian keluar sebagai gas hidrogen dari aluminium cair yang secara skematis ditunjukkan di gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Skema Hidrogen Terlarut yang Berasal dari Reaksi Uap Air di Atmosfer dengan Aluminium Cair [7]

2.4 Sistem Saluran (*Gating System*)

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi logam cair yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Sistem saluran memiliki beberapa bagian antara lain cawan tuang (*pouring basin*), saluran turun (*sprue*), sumur (*well*), pengalir (*runner*), saluran masuk (*ingate*), dan *runner extension* [8] yang dapat dilihat pada gambar 2.3.



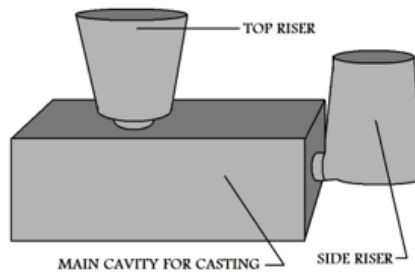
Gambar 2. 3 Bagian-bagian Gating System [9]

Cawan tuang merupakan lokasi dimana logam cair masuk ketika dituangkan. *Sprue* adalah bagian dari sistem saluran yang menjadi jalan bagi logam cair untuk masuk ke daerah terendah dari sistem saluran dengan kecepatan aliran serendah mungkin. *Sprue* yang baik memiliki bentuk runcing (*tapered*) sehingga aliran logam cair tidak terpecah dan menyebabkan terbawanya gas yang berlebih masuk ke dalam aliran. Sumur (*Well*) yang berada di bagian bawah *sprue* berfungsi untuk menenangkan aliran logam cair dari *sprue* sebelum masuk ke *runner*. [9]

Runner merupakan bagian dari sistem saluran yang menjadi jalan untuk mendistribusikan logam cair secara horizontal ke cetakan. Aliran awal logam cair yang masuk ke dalam sistem saluran seringkali mengandung banyak inklusi dan gas, sehingga perlu ditambahkan *runner extension* yang berfungsi untuk mencegah aliran awal dari logam cair masuk ke dalam rongga pola cetakan. [10]

2.5 Penambah (*Riser*)

Penambah atau *riser* merupakan bagian yang berfungsi untuk menampung logam cair yang digunakan untuk mengisi kekosongan akibat penyusutan (*shrinkage*) pada tahap pembekuan (*solidification*) pada rongga cetakan, namun logam cair yang berada pada *riser* tidak boleh membeku lebih awal dari hasil cor. Volume *riser* harus dioptimalkan, bila volume *riser* terlalu kecil maka hasil cor akan tetap memiliki rongga hasil penyusutan, tetapi bila volume *riser* terlalu besar maka akan ada logam cair yang terbuang sia-sia. *Riser* dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu *side riser* (penambah samping) dan *top riser* (penambah atas). *Side riser* dipakai pada benda cor yang memiliki ukuran kecil dan menengah. *Top riser* digunakan untuk benda cor yang berukuran besar. *Side riser* dan *top riser* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 *Side Riser* dan *Top Riser* [11]

2.6 *Bi-film Index*

Bi-film Index, pertama kali digagas oleh Dispinar (2005), adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kualitas dari aluminium cair. *Bi-film index* menilai kualitas dengan mengukur panjang total dari *bi-film* yang terdapat di aluminium cair. Pengukuran *bi-film index* memerlukan mesin *Reduced Pressure Test* (RPT) sebagai alat bantu. Cara kerja mesin RPT adalah dengan membantu membuka *bi-film* yang terdapat di dalam cairan aluminium. Terbukanya *bi-film* didapatkan dengan proses pembekuan aluminium cair dalam sebuah ruangan bertekanan rendah/vakum. Tekanan vakum akan menyebabkan gas hidrogen yang awalnya terlarut di dalam aluminium untuk terdifusi ke rongga di antara *bi-film*. Pembekuan yang berjalan bersamaan dengan terbukanya rongga *bi-film* menyebabkan rongga ini tidak dapat terisi oleh aluminium cair. Difusi hidrogen ke dalam rongga *bi-film* membuat *bi-film* menjadi lebih besar 10x dari semula.

Rongga pori dapat dilihat dengan memotong sampel tepat ditengah, sehingga dapat memberikan hasil yang dapat diandalkan karena gas akan lebih banyak terdifusi di bagian tengah sampel. [5] *Bi-film index* didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$QI = \sum l_p$$

Keterangan:

QI: *Bifilm Index* (mm)

L_p : Panjang Pori (mm)

2.7 Kualitas Logam Hasil Pengecoran

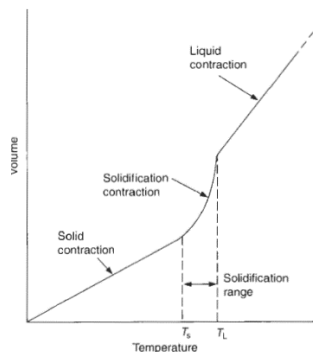
Kualitas dari hasil pengecoran salah satunya dinilai dari sifat mekanik yang dimiliki oleh produk akhir hasil dari pengecoran tersebut. Cacat pengecoran (*casting defects*) seperti *porosity* dan masuknya inklusi akan memberi dampak terhadap sifat mekanik produk hasil pengecoran. Secara garis besar, adanya diskontinuitas non logam dalam suatu produk logam seperti gas, akan merubah sifat mekanik dari produk itu sendiri. [6]

Dalam proses pengecoran aluminium terdapat banyak jenis cacat yang dapat mempengaruhi kualitas dari aluminium hasil pengecoran. *Porosity* adalah jenis cacat yang sangat sering terjadi dalam proses pengecoran aluminium. Cacat ditandai dengan terbentuknya pori atau lubang kecil pada benda cor. Bila dilihat dari penyebabnya, *porosity* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *gas porosity* dan *shrinkage porosity*. *Gas porosity* terjadi karena terperangkapnya udara, uap air, atau hidrogen pada aluminium cair. Gas yang terperangkap ini akan menyebabkan terbentuknya pori akibat gas tersebut memaksa keluar dari logam. Terperangkapnya gas dapat disebabkan oleh kecepatan penuangan yang terlalu lambat, terlarutnya gas dalam logam cair, dan cetakan yang basah. *Gas porosity* dapat dihindari dengan mempercepat proses penuangan, memberikan lubang udara yang memadai pada cetakan, penggunaan *ladle* yang baik untuk mengisi cetakan, dan perancangan sistem saluran (*gating system*) yang baik. Contoh dari *gas porosity* dapat dilihat pada gambar 2.5.



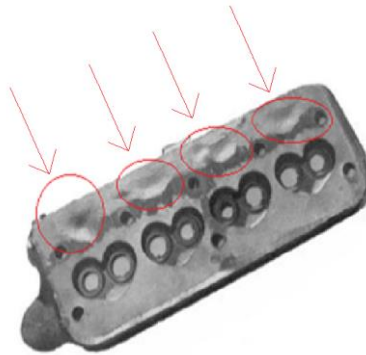
Gambar 2. 5 *Gas Porosity* [12]

Shrinkage porosity terjadi akibat penyusutan volum logam saat proses pembekuan. Pada gambar 2.6 dapat dilihat grafik relasi antara temperatur dan volum logam. Di grafik tersebut dapat dilihat bahwa volum logam akan semakin menurun seiring menurunnya temperatur dan sebaliknya. *Shrinkage porosity* lebih rentan terjadi pada geometri pengecoran yang terlalu kompleks, dan desain sistem saluran yang buruk.



Gambar 2. 6 Grafik Relasi Temperatur dan Volum Logam pada Pengecoran [6]

Sink merupakan cacat akibat penyusutan dimana terjadi penurunan logam di titik tertentu sehingga muncul lekukan atau kawah pada titik tersebut. Cacat ini dapat dihindari dengan menambah volum logam yang dituangkan, mempercepat waktu penuangan, memberi *riser*, dan menurunkan temperatur tuang logam. Contoh dari kegagalan *sink* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 7 Sink [12]

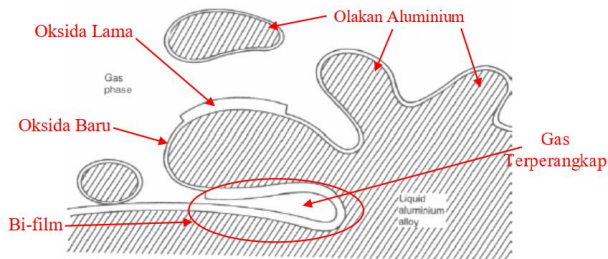
Terbawanya komponen yang tidak diinginkan ke dalam logam pengecoran adalah suatu bentuk cacat yang disebut inklusi. Inklusi dapat berbentuk oksida, *slag*, pasir, atau tanah. Inklusi tersebut dapat menurunkan sifat mekanik dari logam hasil cor. Faktor yang menyebabkan inklusi antara lain cetakan yang kotor dan logam paduan yang belum tercampur dengan sempurna. Inklusi dapat dihindari dengan melakukan pembersihan cetakan dengan baik, dan desain sistem saluran yang baik.

Dross merupakan oksida yang terperangkap dalam logam cair akibat temperature pelelehan logam yang terlalu tinggi dan *holding time* dari logam cair yang terlalu lama. *Dross* dapat dihindari dengan menurunkan temperatur logam cair, menghindari pengadukan logam cair, dan memperpendek *holding time*. Contoh *Dross* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 8 Dross [13]

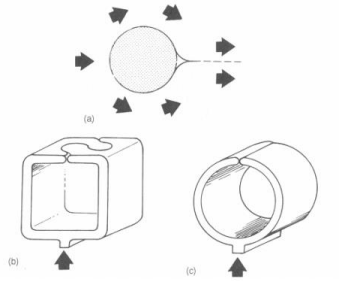
Bifilm adalah cacat pengecoran yang terbentuk akibat melipatnya lapisan oksida pada permukaan aluminium masuk ke dalam aluminium cair sesuai dengan gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Mekanisme Terbentuknya Bifilm [5]

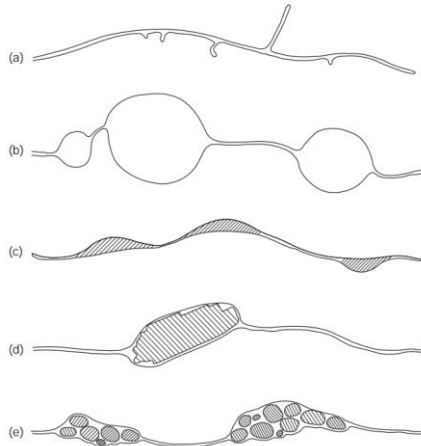
Akibat adanya ruang kosong diantara kedua oksida yang terlipat tersebut maka gas dapat terjebak didalamnya dan tidak bisa keluar dari logam cair. *Bifilm* akan sangat mudah terbentuk dalam pengecoran akibat penuangan, pengadukan, geometri cetakan, dan transfer logam cair. Contoh geometri cetakan yang dapat mempermudah terbentuknya *bifilm* dapat dilihat pada gambar 2.11. Pada *confluence geometry*, logam cair akan terpecah menjadi 2 aliran dan akan menyatu kembali di akhir. Pemisahan dan penyatuan kemabali akan menyebabkan terbentuknya *bifilm* akibat

lapisan oksida pada permukaan salah satu aliran akan menyatu dengan lapisan oksida pada permukaan aliran yang lain.

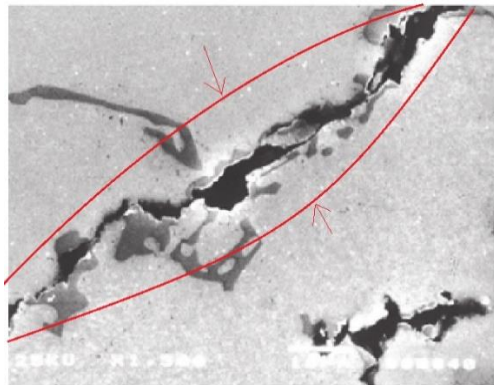


Gambar 2. 10 *Confluence Geometry* [5]

Bifilm juga bisa menjadi tempat untuk masuknya berbagai macam komponen pengecoran seperti gas, *flux* cair, kotoran, dan pasir. Untuk ilustrasi masuknya komponen pengecoran tersebut ke dalam *bifilm* dapat dilihat pada gambar 2.12 dan bentuk nyata *bifilm* dalam logam pengecoran dapat dilihat pada gambar 2.13. [6]



Gambar 2. 11 (a) *Bifilm* Baru Terbentuk; (b) *Bifilm* dengan Gas Terperangkap; (c) *Bifilm* dengan Flux Terperangkap; (d) *Bifilm* dengan Pengotor Terperangkap; (e) *Bifilm* dengan Pasir Terperangkap [6]



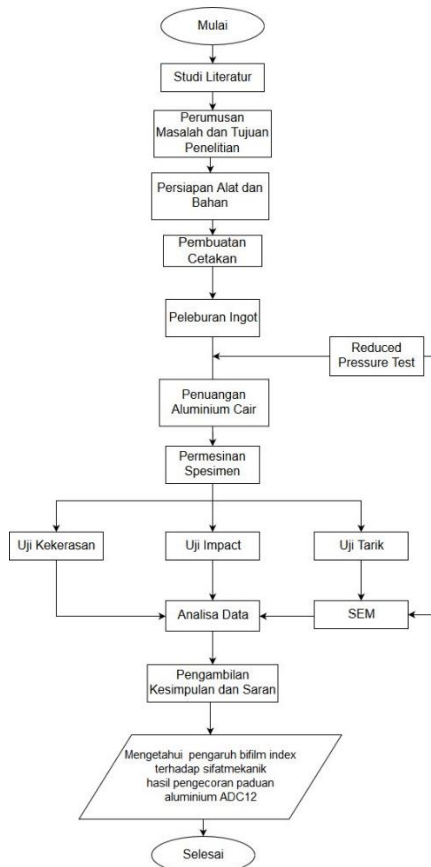
Gambar 2. 12 *Bifilm* dilihat dengan SEM (tanda panah merah) [6]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini digambarkan secara singkat melalui diagram alir pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penggaris
2. Jangka Sorong
3. Kamera Digital
4. *Software* CAD
5. Gerinda dan Mesin Gergaji
6. Mesin Bubut
7. Mesin *Freis*
8. Tungku Peleburan dan Sistem Pembakarannya
9. Tabung Gas Argon
10. Mesin *Polishing*
11. Mesin Uji Tarik
12. Mesin Uji *Impact*
13. Mesin Uji *Hardness*
14. *Scanning Electron Microscope*

3.3 Langkah – Langkah Penelitian

Pada Tugas Akhir ini dilakukan langkah-langkah eksperimen sebagai berikut:

3.3.1 Studi Literatur

Tahap Studi Literatur ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teori sebagai penguat eksperimen yang akan dilakukan. Eksperimen yang pernah dilakukan sebelumnya terkait *bifilm index*, spesifikasi cetakan yang dibutuhkan untuk melakukan *Reduced Pressure Test*, standar uji tarik, *impact*, dan *hardness*, serta spesifikasi dari paduan aluminium ADC 12. Dasar teori tersebut diperoleh dari buku, standar, dan jurnal yang pernah diterbitkan.

3.3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dipastikan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen sudah siap digunakan. Dicari

supplier terpercaya untuk memperoleh *ingot* paduan aluminium ADC12. Dimensi dari *crucible* A10 yang akan digunakan dipastikan bisa menampung logam cair sesuai kapasitas yang dibutuhkan. Berikut adalah dimensi, kapasitas dan gambar dari *crucible* A10 yang akan digunakan:



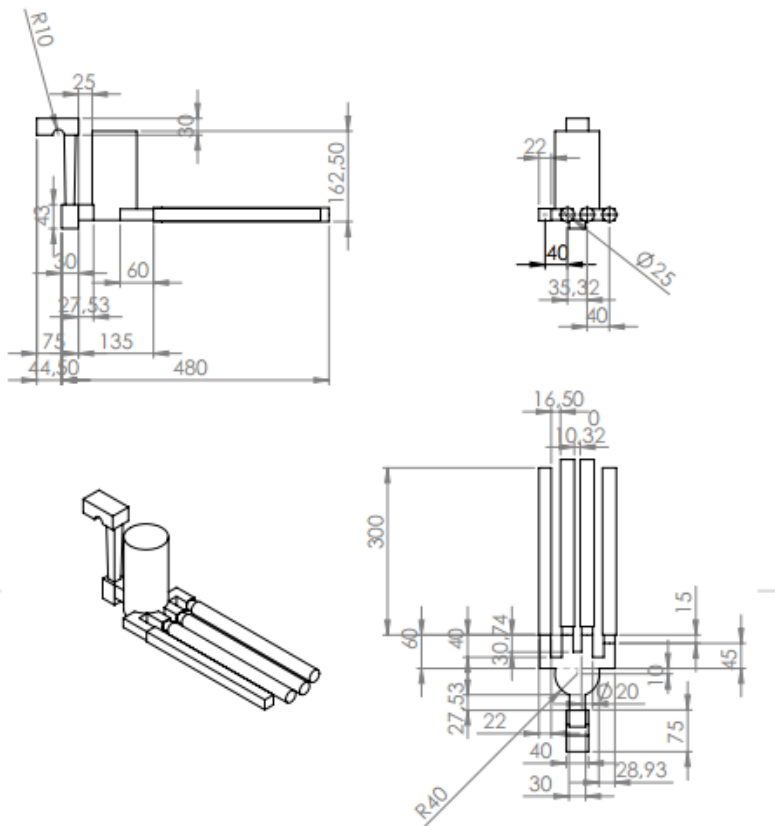
Gambar 3. 2 *Crucible* A10 [14]

Tabel 3. 1 Dimensi dan Kapasitas *Crucible* A10

<i>Top Outer Diameter</i> (TOD) (mm)	160
<i>Height</i> (HT) (mm)	200
<i>Bottom Outer Diameter</i> (BOD) (mm)	110
<i>Brimful Capacity</i> (Litres)	2.4

3.3.3 Pembuatan Cetakan Uji Tarik, Impact, dan Hardness

Untuk membuat spesimen pengujian tarik, *impact*, dan *hardness* akan digunakan metode *sand casting* dengan 1 cetakkan dengan bentuk sesuai gambar 3.3. tiga buah batang silinder akan menjadi tiga spesimen uji tarik, dan satu balok akan menjadi tiga spesimen uji *impact* dan tiga spesimen uji kekerasan.



Gambar 3. 3 Gambar Teknik Cetakan Spesimen Uji Tarik, *Impact*, dan Kekerasan

3.3.4 Peleburan *Ingot*

Peleburan *Ingot* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemanasan tungku dan cawan peleburan hingga suhu 850°C.

2. Penimbangan ingot paduan ADC12 sebanyak 5.5 kg
3. Pemasukkan ingot paduan ADC12 ke dalam cawan peleburan
4. Pelelehan paduan ADC12 hingga mencapai suhu 720°C
5. Pengkondisian kualitas aluminium cair sesuai dengan perlakuan pada tabel 3.1
6. Pemisahan dross dari permukaan aluminium cair ke luar tungku

Perlakuan untuk mendapatkan kualitas aluminium cair akan dibedakan menjadi 3 tipe yaitu A, B, dan C. Variabel yang membedakan untuk mencapai masing-masing kondisi dituangkan pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Pengkondisian Kualitas Aluminium Cair

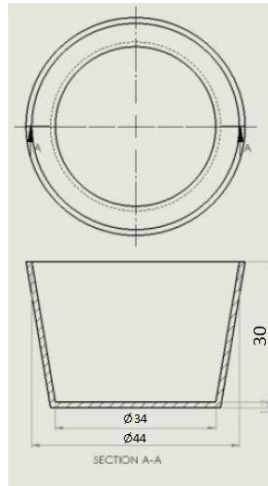
Kode Spesimen	Lama Pengadukan (Menit)
A	0
B	3
C	5

Pengecoran spesimen untuk uji tarik, kekerasan, dan impact dilakukan bersamaan dan hanya menggunakan 1 cetakan saja sesuai gambar 3.5. Masing – masing sampel uji terdiri dari 5 sampel. Untuk sampel uji kekerasan akan diambil dari *runner* atau *riser* cetakan yang memiliki kualitas terbaik.

Sebelum dicor cetakan akan dipanaskan hingga suhu 300°C. Pemanasan cetakan hingga suhu tersebut bertujuan untuk mengurangi gradien termal dari cetakan dan logam cair sehingga tidak terjadi penyumbatan saluran *runner* akibat pendinginan yang terlalu cepat. Penuangan dilakukan dengan mengatur tinggi penuangan setinggi 20 mm.

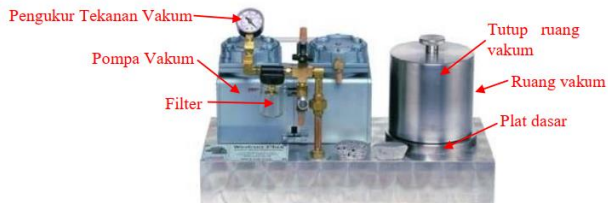
3.3.5 Reduced Pressure Test

Reduced Pressure Test dilakukan sesaat sebelum penuangan menggunakan cetakan dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Dimensi Cetakan *Reduced Pressure Test*

Mesin untuk melakukan *Reduced Pressure Test* beserta komponen-komponennya dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Mesin *Reduced Pressure Test*

Reduced pressure test dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: [15]

1. Pemanasan Cetakan RPT diatas aluminium cair sebelum digunakan untuk mengambil spesimen
2. Pengambilan spesimen aluminium cair
3. Peletakkan specimen ke atas plat dasar ruang vakum
4. Penutupan ruang vakum
5. Penyalan pompa vakum
6. Tekanan diatur hingga mencapai 100 mbar ($\pm 1/10$ tekanan atmosfer)
7. Spesimen didinginkan dalam ruang vakum selama ± 7 menit
8. Pompa vakum dimatikan
9. Pengambilan spesimen dari cetakannya

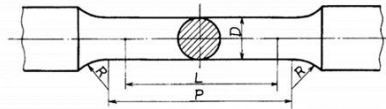
Penghitungan *Bi-film Index* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: [15]

1. Spesimen *Bifilm Index* dipotong melintang tepat di tengah diameter spesimen
2. *Grinding* menggunakan kertas gosok dengan 320, 500, 800, 1000, 2000.
3. Pengambilan foto permukaan spesimen menggunakan kamera digital
4. Pengukuran panjang pori
5. Perhitungan *Bifilm Index*

Reduced Pressure Test dilakukan pada spesimen dari masing-masing perlakuan di tabel 3.2. sebagai pembanding juga digunakan spesimen RPT dari pabrik tempat pembelian *ingot*.

3.3.6 Pengujian Kekuatan Tarik

Dimensi dari spesimen uji tarik disesuaikan dengan JIS Z 2201 No. 4 yang dapat dilihat pada gambar 3.6.



Unit : mm

Diameter D	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R
14	50	60 approx.	15 min.

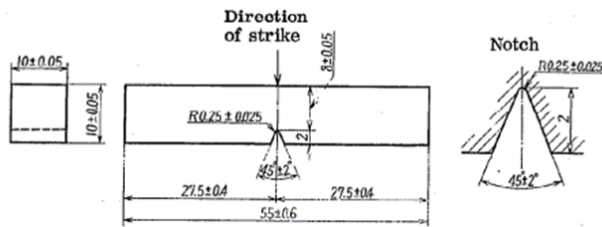
Gambar 3. 6 Dimensi Spesimen Uji Tarik

Penampang dari spesimen uji tarik berbentuk lingkaran. Terdapat 11 spesimen uji tarik yang terdiri dari 3 spesimen untuk masing-masing variabel dan 2 spesimen yang diambil dari *ingot* sebagai pembanding. Pengujian kekuatan tarik akan dilakukan sesuai dengan standar pengujian JIS 2241 menggunakan mesin tarik Wolpert Tensile-Bending dengan kapasitas maksimum 300 kg.

3.3.7 Pengujian Impact

Dimensi dari spesimen uji impact disesuaikan dengan JIS Z 2202 No. 4 dengan *notch* berbentuk “V” yang dapat dilihat pada gambar 3.7.

Unit: mm



Gambar 3. 7 Dimensi Spesimen Uji Impact

Terdapat 12 spesimen uji tarik yang terdiri dari 3 spesimen untuk masing-masing variabel dan 3 spesimen yang diambil dari *ingot* sebagai pembanding. Pengujian *impact strength*

akan dilakukan sesuai dengan standar pengujian JIS 2242. Pengujian *impact strength* akan dilakukan menggunakan mesin FRANK tipe 580 M pada suhu ruang, dan metode *Charpy*.

3.3.8 Pengujian Kekerasan

Dimensi spesimen serta metode pengujian disesuaikan dengan JIS Z 2243 dengan metode Brinnel Hardness Test. Terdapat 4 spesimen uji kekerasan yang terdiri dari 3 spesimen untuk masing-masing variabel dan 1 spesimen yang diambil dari ingot sebagai pembanding. Masing-masing spesimen akan diberi indentasi di 5 titik berbeda. Pengujian kekerasan ini akan dilakukan menggunakan mesin Wolpert dengan indenter bola baja di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin.

3.3.9 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy-dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS)

Pengujian SEM diperlukan untuk melihat *bifilm* secara lebih dekat dan mengamati bentuk dari *bifilm* tersebut. EDS dilakukan untuk mengetahui unsur apa yang terdapat pada permukaan uji serta unsur di sekitar *bifilm* yang diobservasi. *Bifilm* akan memiliki oksida di sekitarnya, hal ini akan menjadi indikator utama untuk membuktikan keberadaan *bifilm* di dalam aluminium ADC12 hasil pengecoran.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 *Reduced Pressure Test (RPT)*

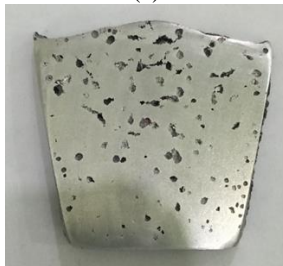
Spesimen untuk *Reduced Pressure Test* diambil sebanyak 1 buah untuk masing-masing variabel pengujian. Pengujian dilakukan pada tekanan 100 mbar selama 7 menit. Hasil dari RPT dipotong di bagian tengah menggunakan gergaji tangan dan dihaluskan permukaannya dengan *grinding*. Setelah itu permukaan spesimen dipoles menggunakan kain beludru dan alumina. Gambar 4.1 menunjukkan spesimen RPT yang sudah dihaluskan dan dipoles. Sebagai pembanding juga disertakan hasil uji RPT dari spesimen *ingot* pabrik pada gambar 4.1 (d).



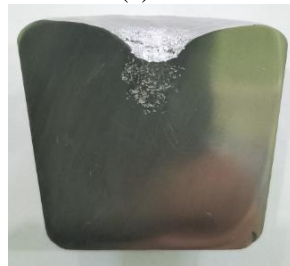
(a)



(b)



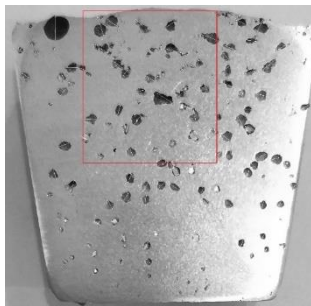
(c)



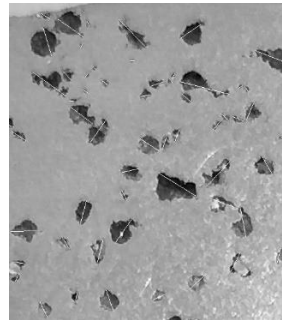
(d)

Gambar 4. 1 Spesimen RPT untuk logam cair dengan waktu pengadukan (a) tanpa pengadukan ; (b) 3 menit ; (c) 5 Menit ; (d) *ingot*

Setelah spesimen dihaluskan dan dipoles maka pengukuran *bifilm index* dapat dilakukan. Pengukuran *bifilm index* dilakukan dengan bantuan program *image analysis*. Pertama-pertama diambil gambar yang jelas dengan menggunakan kamera digital, setelah itu penentuan skala dari gambar dilakukan di dalam program. Pengukuran panjang dari *bifilm* yang diobservasi dilakukan dengan menarik garis dari satu ujung *bifilm* ke ujung yang lain. Hasil pengukuran panjang kemudian dijumlahkan sehingga diperoleh *bifilm index* dari masing-masing spesimen RPT. Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan hasil penarikan garis pada masing-masing pori. Untuk spesimen RPT *ingot* tidak dilakukan pengukuran karena tidak ada *bifilm* yang tampak, hanya *shrinkage porosity* yang diindikasikan dengan tidak membesarnya pori tersebut meskipun sudah melalui RPT. Hasil pengukuran panjang pori dan *bifilm index* masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.1.

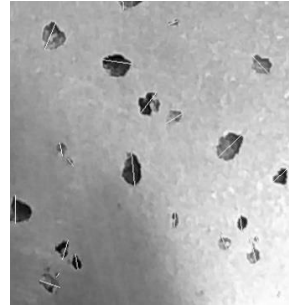
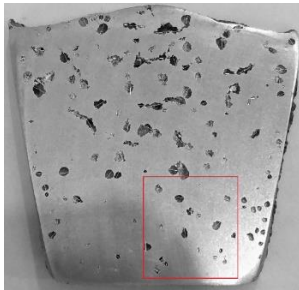


(a)

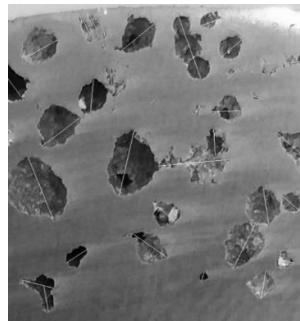
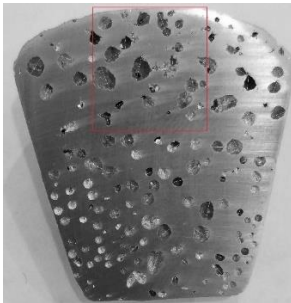


(b)

Gambar 4. 2 (a) Foto Spesimen RPT (tanpa pengadukan) yang sudah diproses dengan *image analysis* ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah)



Gambar 4. 3 (a) Foto Spesimen RPT (pengadukan 3 menit) yang sudah diproses dengan image analysis ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah)



Gambar 4. 4 (a) Foto Spesimen RPT (pengadukan 5 menit) yang sudah diproses dengan image analysis ; (b) Perbesaran salah satu bagian (kotak merah)

Tabel 4. 1 *Bifilm* Index Masing-masing Spesimen RPT





Spesimen	Lama Pengadukan (Menit)	Bifilm Index
A	0	151.894
B	3	154.899
C	5	213.258
O (Ingot)		~0

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa variabel waktu pengadukan dapat memberikan pengaruh terhadap nilai *bifilm index* dari paduan aluminium ADC12 hasil pengecoran. Pada waktu pengadukkan 5 menit, nilai *bifilm index* akan meningkat secara signifikan. Peningkatan ini terjadi karena timbulnya olakkan akibat pengadukkan yang menyebabkan oksida yang terbentuk di permukaan melipat dan tenggelam ke dalam aluminium cair. Munculnya *bifilm* pada spesimen A kemungkinan disebabkan oleh tenggelamnya *bifilm* akibat proses pengambilan spesimen RPT dan proses pelelehan ingot yang menyebabkan olakkan.


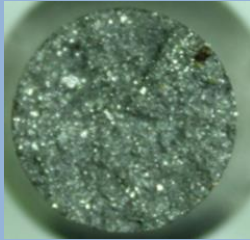
4.2 Pengujian Tarik





Pengujian tarik dilakukan pada 11 spesimen yang terdiri dari 3 spesimen untuk masing-masing perlakuan dan 2 spesimen yang diambil dari *ingot*. Posisi patahan serta pola patahan dari masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5. Data hasil uji tarik dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 2 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen O (*Ingot*)


No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		
2		

Tabel 4. 3 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen A (Tanpa Pengadukkan)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

Tabel 4. 4 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen B (3 Menit Pengadukkan)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

Tabel 4. 5 Posisi dan Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen C (5 Menit Pengadukkan)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2	 A photograph of a horizontal metal rod with a flared end on the left. A red circle highlights a vertical crack on the right side of the rod.	 A circular micrograph showing a granular, crystalline fracture surface with a greenish tint.
3	 A photograph of a horizontal metal rod with a flared end on the left. A red circle highlights a vertical crack on the right side of the rod.	 A circular micrograph showing a granular, crystalline fracture surface with a greenish tint.

Tabel 4. 6 Data Hasil Uji Tarik

Data	Satuan	O (Ingot)		A (Tanpa Pengadukan)			B (3 menit)			C (5 menit)		
		1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Panjang Spesimen Awal	mm	300	300	300.1	299.8	299.3	299	298.9	299	300.1	299.9	298.2
Gauge Length Awal (Lo)	mm	60.12	60.04	50	100.1	50	50	50	100.1	50	50	100.1
Diameter Awal (Do)	mm	14.07	14.09	13.93	20.02	14.04	13.95	13.82	20.02	13.95	13.79	19.85
Luas Spesimen Awal (Ao)	mm ²	155.54385	155.98636	152.46385	314.9146	154.88126	152.90196	150.06546	314.9146	152.90196	149.41465	309.58911
Beban Lumer (Py)	KN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beban Maksimum (Pu)	KN	24.4	26.4	20.2	41.2	21	19.2	19.2	42	18.7	15.8	36.5
ΔL saat patah	mm	1.22	1.36	1.62	1.74	1.58	1.71	1.66	1.69	1.58	1.79	1.65
Panjang Spesimen Akhir	mm	301.22	301.36	301.72	301.54	300.88	300.71	300.56	300.69	301.68	301.69	299.85
Gauge Length Akhir	mm	61.34	61.4	51.62	101.84	51.58	51.71	51.66	101.79	51.58	51.79	101.75
Diameter Akhir (D1)	mm	13.98	14.01	13.85	19.8	13.91	13.82	13.63	19.67	13.68	13.57	19.43
Luas Spesimen Akhir (A1)	mm ²	153.56031	154.22008	150.71768	308.03143	152.02636	150.06546	145.96756	303.99985	147.04046	144.68528	296.62671
Yield Strength	N/mm ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elongation	%	2.0292748	2.2651566	3.24	1.7382617	3.16	3.42	3.32	1.6883117	3.16	3.58	1.6483516
Reduction Area	%	1.2752261	1.1323334	1.1453019	2.1857264	1.8432785	1.8551149	2.7307369	3.4659397	3.8335068	3.1652662	4.186969
Ultimate Tensile Strength	N/mm ²	156.86895	169.24556	132.49042	130.82912	135.58774	125.57066	127.94417	133.36949	122.30059	105.74599	117.8982
Ultimate Tensile Strength (rata-rata)	N/mm ²	163.057255		132.9690952			128.9614384			115.3149272		

Data utama yang ingin diperoleh dari pengujian ini adalah beban maksimum dari spesimen yang kemudian akan digunakan untuk menghitung kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength*) dari masing-masing spesimen. Berikut adalah contoh perhitungan dari kekuatan tarik (σ_t) dari Spesimen A1:

$$\sigma_t = \frac{P_u}{A_o}$$

$$\sigma_t = \frac{20.2 \times 1000}{152.46385} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = 132.4904231 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan kekuatan tarik, rata-rata, serta standar deviasi masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.7 dan grafik pada gambar 4.5.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Kekuatan Tarik Masing-masing Spesimen

Spesimen		Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)	Standar Deviasi (S)
O (Ingot)	1	156.8689472	163.1	8.751588729
	2	169.2455627		
A (Tanpa Pengadukkan)	1	132.4904231	133.0	2.415153618
	2	130.82912		
	3	135.5877424		
B (Pengadukkan 3 Menit)	1	125.5706563	129.0	3.997697686
	2	127.9441676		
	3	133.3694913		
C (Pengadukkan 5 Menit)	1	122.3005871	115.3	8.574302829
	2	105.7459894		
	3	117.8982049		



Gambar 4. 5 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi Kekuatan Tarik

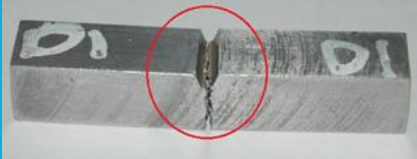

Dari data yang diperoleh diketahui bahwa adanya *bifilm* memberi pengaruh terhadap kekuatan tarik paduan aluminium ADC12 hasil pengecoran. Meningkatnya nilai *bifilm index* menyebabkan kekuatan tarik menurun. Penurunan kekuatan tarik ini terjadi karena *bifilm* bertindak sebagai *stress concentration* dan *crack initiation* yang akan mempermudah perambatan *crack* dalam

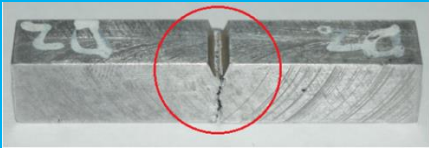

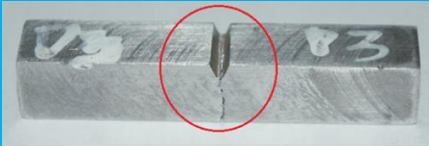

material sehingga material tersebut akan lebih mudah mengalami *fracture*. Hal ini juga diperkuat dengan permukaan patahan dari spesimen yang tidak sepenuhnya rata karena adanya *stress concentration* di titik-titik tertentu akibat penyebaran yang acak dari *bifilm* di dalam material. Pada grafik di gambar 4.5 didapati terdapat standar deviasi pada masing-masing spesimen. Standar deviasi pada spesimen A, B, dan C kemungkinan disebabkan oleh penyebaran *bifilm* yang acak, sedangkan pada spesimen D belum diketahui penyebabnya kenapa

4.3 Hasil Uji Impact

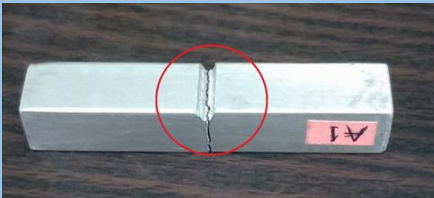
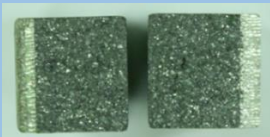
Pengujian *impact* dilakukan pada 12 spesimen yang terdiri dari 3 spesimen untuk masing-masing perlakuan dan 3 spesimen yang dibuat dari *ingot*. Sudut awal pengujian (α) pengujian adalah 156° , metode yang digunakan adalah Charpy, tipe *notch* yang digunakan adalah “V *notch*”, dan beban yang digunakan sebesar 30 ekpm. Posisi patahan serta pola patahan dari masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.7, 4.8, 4.9, 4.10. Data hasil uji *impact* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

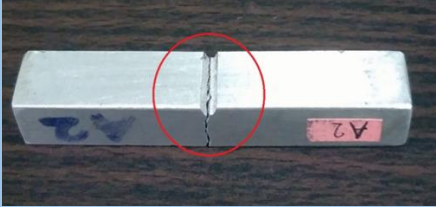
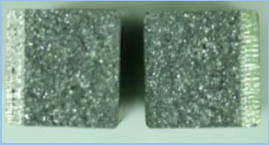
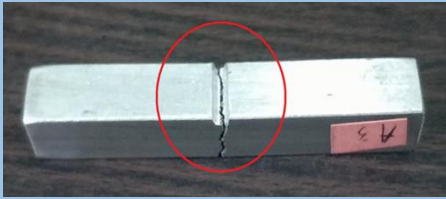
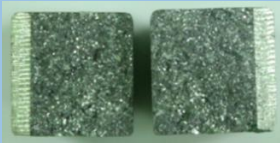
Tabel 4. 8 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen O
(*Ingot*)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		


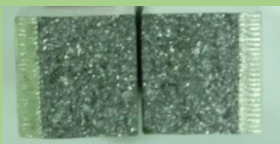
No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

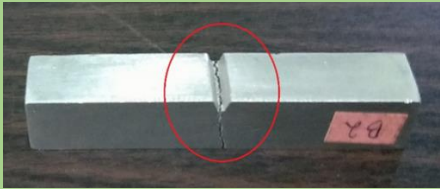
Tabel 4. 9 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji *Impact* Spesimen A
(Tanpa Pengadukkan)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

Tabel 4. 10 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji *Impact* Spesimen B
(Pengadukkan 3 Menit)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

Tabel 4. 11 Posisi dan Pola Patahan Hasil Uji Impact Spesimen C (Pengadukkan 5 Menit)

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
1		

No	Posisi Patahan	Permukaan Patahan
2		
3		

Tabel 4. 12 Data Hasil Uji *Impact*

Data	Satuan	O (Ingot)			A (Tanpa Pengadukan)			B (3 menit)			C (5 menit)		
		1	2	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Panjang Spesimen	mm	54.77	54.71	54.84	54.95	55.16	54.55	54.86	54.49	54.5	54.22	54.13	54.46
Lebar Spesimen	mm	10.08	9.95	10.05	10.03	9.89	9.97	10.2	9.97	10.17	9.84	9.8	9.98
Tinggi Spesimen	mm	10.04	10.14	10.15	9.82	9.95	9.84	10.09	10.22	10.14	9.89	9.9	10.01
Sudut Akhir (β)	derajat	152.5	152	153	152	153	152.5	152.8	152.8	153	153.5	153.5	153.5
Energi untuk Mematahkan	Ekpm	0.45	0.45	0.39	0.45	0.39	0.42	0.41	0.41	0.39	0.34	0.34	0.34
Tebal Patahan (D)	mm	10.04	10.14	10.15	9.82	9.95	9.84	10.09	10.22	10.14	9.89	9.9	10.01
Tebal Sisa Patahan (D')	mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luas Patahan (A _s)	mm	101.203	100.893	102.008	98.4946	98.4055	98.1048	102.918	101.893	103.124	97.3176	97.02	99.8998
Impact Strength (I _s)	kpm/mm ²	0.00445	0.00446	0.00382	0.00457	0.00396	0.00428	0.00398	0.00402	0.00378	0.00349	0.0035	0.0034
Impact Strength (rata-rata)	kpm/mm ²	0.004243306			0.004271036			0.00392981			0.003467186		

*Sudut Awal: 156°

Data utama yang ingin diperoleh dari pengujian ini adalah energi untuk mematahkan yang kemudian akan digunakan untuk menghitung *impact strength* (I_s) dari masing-masing spesimen.

Berikut adalah contoh perhitungan *Impact Strength* dari material A1:

$$Is = \frac{E}{A}$$

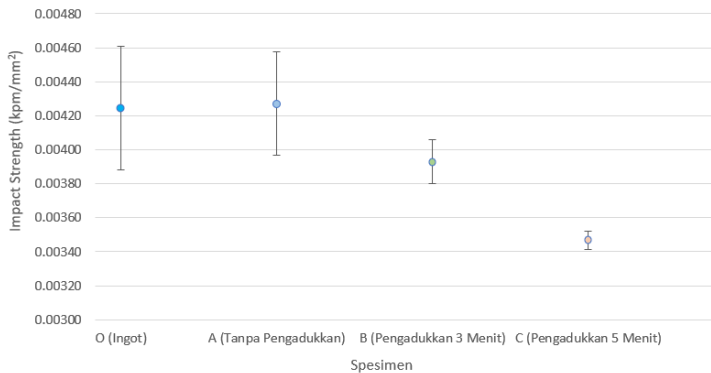
$$Is = \frac{0.45}{98.4946} \text{ kpm/mm}^2$$

$$Is = 0.0045688 \text{ kpm/mm}^2$$

Hasil perhitungan *impact strength*, rata-rata, serta standar deviasi masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.13 dan grafik pada gambar 4.6.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan *Impact Strength* Masing-masing Spesimen

Spesimen		Impact Strength (kpm/mm ²)	Rata-rata (kpm/mm ²)	Standar Deviasi (S)
O (Ingot)	1	0.004446	0.00424	0.000363845
	2	0.004460		
	3	0.003823		
A (Tanpa Pengadukkan)	1	0.004569	0.00427	0.000302919
	2	0.003963		
	3	0.004281		
B (Pengadukkan 3 Menit)	1	0.00398	0.00393	0.000129683
	2	0.00402		
	3	0.00378		
C (Pengadukkan 5 Menit)	1	0.00349	0.00347	5.54907E-05
	2	0.00350		
	3	0.00340		



Gambar 4. 6 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi *Impact Strength*


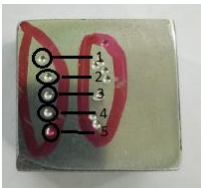


Dari data yang diperoleh diketahui bahwa adanya *bifilm* akan memberi pengaruh terhadap *impact strength* paduan aluminium ADC12. Di nilai *bifilm index* 151.894 (Spesimen A) tidak terjadi perubahan terhadap *impact strength* material apabila dibandingkan dengan Spesimen D (*Ingot*). Pada nilai *bifilm index* 154.899 (Spesimen B) mulai terjadi penurunan *impact strength* terjadi dibandingkan dengan spesimen D. Penurunan *impact strength* secara signifikan terjadi pada nilai *bifilm index* 213.258 (Spesimen C). Penurunan *impact strength* ini terjadi karena *bifilm* bertindak sebagai *stress concentration* dan *crack initiation* yang akan mempermudah perambatan *crack* dalam material sehingga material tersebut akan lebih mudah mengalami *fracture*. Semakin banyak jumlah *bifilm* yang ada di material maka semakin besar kemungkinan adanya *bifilm* pada luasan yang terkena. Tidak terjadinya penurunan *impact strength* pada spesimen A kemungkinan disebabkan karena belum cukupnya jumlah *bifilm* untuk membuat perubahan atau tidak adanya *bifilm* pada luasan yang terkena gaya akibat penyebaran *bifilm* yang acak. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai hal ini. Standar deviasi pada spesimen A, B, dan C kemungkinan disebabkan oleh

penyebaran bifilm yang acak, sedangkan pada spesimen D belum diketahui penyebabnya kenapa

4.4 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada 4 spesimen yang terdiri dari 1 spesimen untuk masing-masing perlakuan dan 1 spesimen *ingot*. Metode yang digunakan adalah Brinnel dan pembebanan dari indentasi adalah 62.5 kgf. Posisi indentasi dan Data hasil kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan 4.15. Grafik Perbandingan nilai kekerasan dari masing-masing spesimen dapat dilihat pada gambar 4.7.

Tabel 4. 14 Posisi Indentasi Spesimen Uji Kekerasan

Spesimen O (Ingot)	Spesimen A (Tanpa Pengadukkan)	Spesimen B (Pengadukkan 3 Menit)	Spesimen C (Pengadukkan 5 Menit)
			

Tabel 4. 15 Data Hasil Uji Kekerasan

Data		Satuan	O (Ingot)					A (Tanpa Pengadukkan)					B (Pengadukkan 3 Menit)					C (Pengadukkan 5 Menit)				
			Titik					Titik					Titik					Titik				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Diameter	d ₁	mm	0.89	0.88	0.91	0.89	0.89	0.89	0.94	0.91	0.94	0.89	0.96	0.96	0.94	0.96	0.98	0.96	0.97	0.95	0.94	1.03
	d ₂		0.89	0.88	0.91	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.93	0.89	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96	0.98	0.99	0.97	0.94	1.03
	d _{rata} ²		0.92	0.88	0.91	0.89	0.89	0.89	0.93	0.92	0.93	0.89	0.95	0.96	0.94	0.96	0.97	0.97	0.98	0.96	0.94	1.03
Kekerasan		BHN	91.6	99.4	93.5	97.6	97.2	96.5	89.3	91.6	88.2	96.7	85.2	83.4	86.2	83.6	81.1	81.7	79.4	83.2	86.7	72.2
Kekerasan Rata-rata		BHN	95.9					92.4					83.9					80.6				

*Beban (P): 62.5 kgf

* Diameter Indentor (D): 2,5 mm

Data utama yang ingin diperoleh dari pengujian ini adalah besar diagonal dari hasil indentasi bola baja yang kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai kekerasan (BHN) dari masing-masing spesimen. Berikut adalah contoh perhitungan kekerasan dari spesimen A titik 1:

$$BHN = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kgf/mm}^2$$

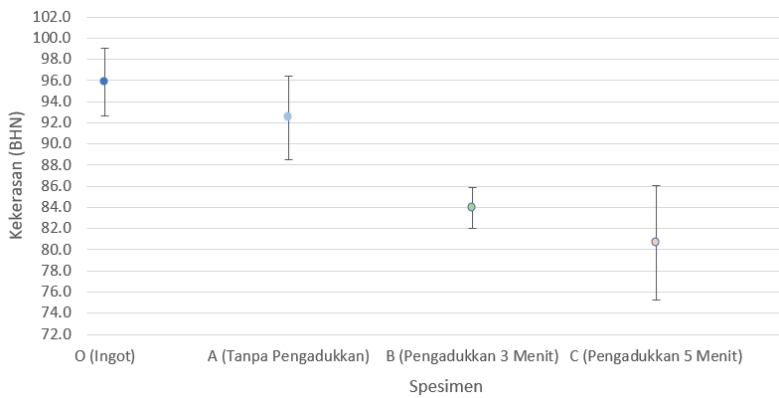
$$BHN = \frac{62.5}{\pi \frac{2.5}{2} (2.5 - \sqrt{2.5^2 - 0.89^2})} \text{ kgf/mm}^2$$

$$BHN = 96.5 \text{ kgf/mm}^2$$

Hasil perhitungan nilai kekerasan, rata-rata, serta standar deviasi masing-masing spesimen dapat dilihat pada tabel 4.16 dan grafik pada gambar 4.7.

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Nilai Kekerasan Masing-masing Spesimen

Spesimen	Titik	Kekerasan (BHN)	Rata-rata (BHN)	Standar Deviasi (S)
O (Ingot)	1	91.6	95.9	3.194368896
	2	99.4		
	3	93.5		
	4	97.6		
	5	97.2		
A (Tanpa Pengadukkan)	1	96.5	92.4	3.963794321
	2	89.3		
	3	91.6		
	4	88.2		
	5	96.7		
B (Pengadukkan 3 Menit)	1	85.2	83.9	1.929647803
	2	83.4		
	3	86.2		
	4	83.6		
	5	81.1		
C (Pengadukkan 5 Menit)	1	81.7	80.6	5.409628503
	2	79.4		
	3	83.2		
	4	86.7		
	5	72.2		



Gambar 4. 7 Grafik Rata-rata dan Standar Deviasi Nilai Kekerasan

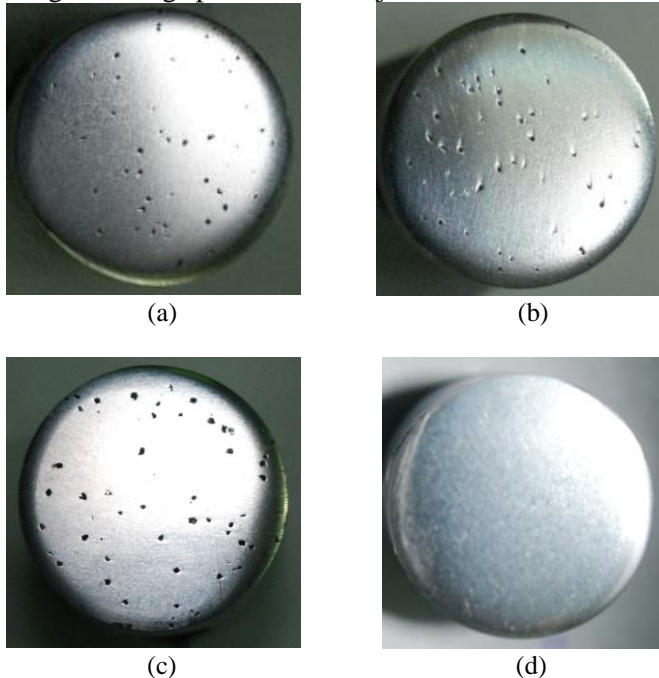
Dari data yang diperoleh dapat diketahui adanya *bifilm* memberi pengaruh terhadap kekerasan paduan aluminium ADC12 hasil pengecoran. Meningkatnya nilai *bifilm index* menyebabkan

kekerasan menurun. Semakin banyak jumlah *bifilm* dalam material, maka akan semakin kecil luasan yang terkena gaya karena material menjadi tidak solid, selain itu material juga akan menjadi heterogen karena adanya oksida disekitar *bifilm*. Standar deviasi pada spesimen A, B, dan C kemungkinan disebabkan oleh penyebaran bifilm yang acak, sedangkan pada spesimen O belum diketahui penyebabnya kenapa

4.5 Pengamatan Visual

4.5.1 Penampang Melintang Spesimen Uji

Berikut adalah penampang melintang yang diamati dari masing – masing spesimen hasil uji tarik:



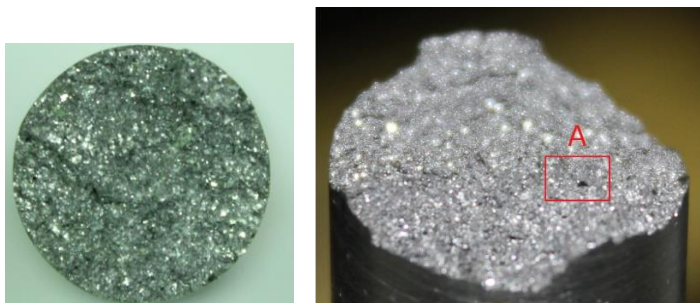
Gambar 4. 8 Penampang Melintang spesimen hasil uji tarik ; (a) Tanpa Pengadukkan ; (b) Pengadukkan 3 Menit ; (c) Pengadukkan 5 menit ; (d) *Ingot*

Pada masing-masing spesimen dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan banyak serta besar dari *bifilm* yang terbentuk. Spesimen C (Pengadukkan 5 menit) memiliki *bifilm* paling banyak dan paling besar dibanding spesimen lainnya, sedangkan spesimen A (tanpa pengadukkan) dan spesimen B (pengadukkan 3 menit) tampak memiliki *bifilm* dengan jumlah dan ukuran yang sama. Pada spesimen O (ingot) tidak terlihat adanya *bifilm* sama sekali.

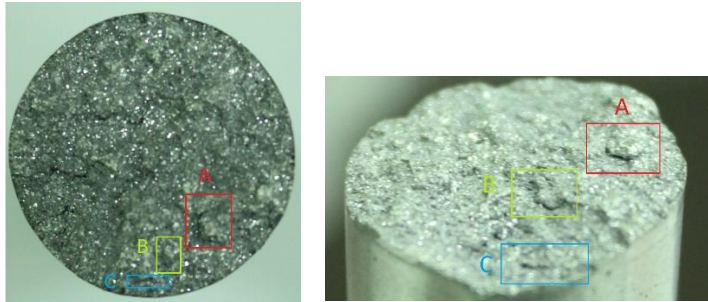
Dari Pengamatan yang diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil RPT mencerminkan hasil akhir dari pengecoran spesimen. Hal ini dilihat dari perbandingan besar serta jumlah dari *bifilm* yang terbentuk pada spesimen RPT dengan *bifilm* pada spesimen hasil uji tarik pada gambar 4.8. Pada hasil RPT spesimen A dengan spesimen B memiliki nilai *bifilm index* yang berdekatan, sedangkan spesimen C memiliki nilai *bifilm index* dengan perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan dengan dua spesimen lainnya, perbandingan yang sama juga terlihat pada penampang melintang hasil uji tarik.

4.5.2 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik

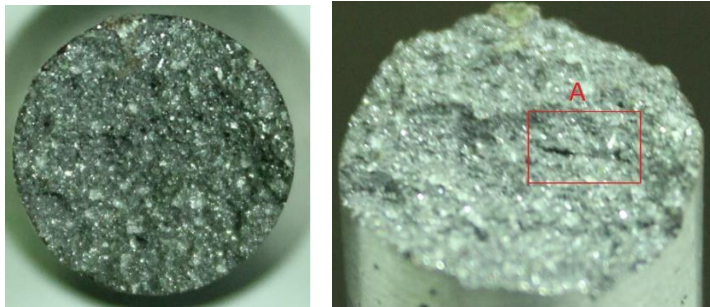
Berikut adalah permukaan patahan dari 3 spesimen hasil uji tarik (1 spesimen untuk masing-masing variabel):



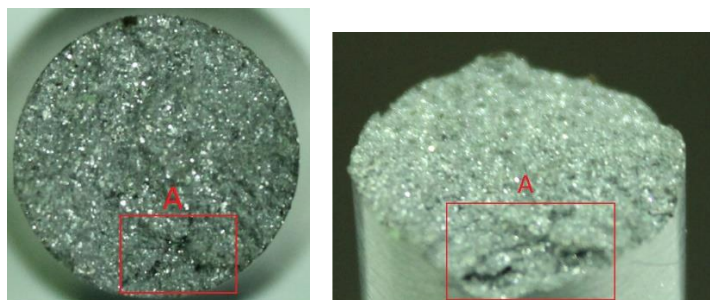
Gambar 4. 9 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen A3



Gambar 4. 10 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik Spesimen B3



Gambar 4. 11 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen C1



Gambar 4. 12 Permukaan Patahan Hasil Uji Tarik
Spesimen O2

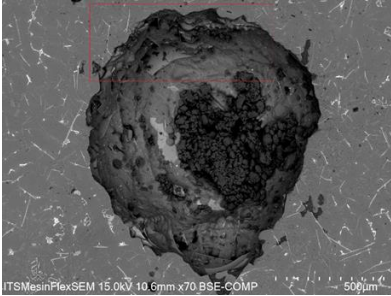
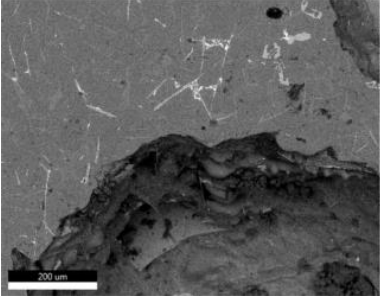
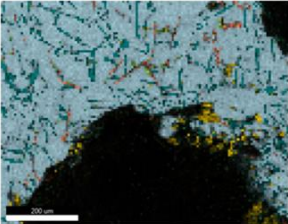
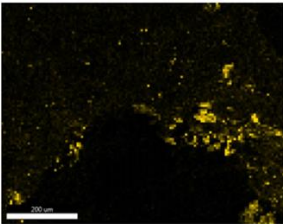
Pada masing-masing permukaan patahan dapat dilihat bahwa terdapat fluktuasi ketinggian permukaan yang berbeda apabila dilihat dari gambar tampak atas. Spesimen A2 dan B3 Memiliki fluktuasi ketinggian permukaan yang hampir sama, sedangkan spesimen C1 memiliki fluktuasi ketinggian permukaan yang lebih banyak dibandingkan spesimen lainnya. Spesimen O2 terlihat memiliki fluktuasi ketinggian permukaan yang lebih sedikit dibanding ketiga spesimen lainnya. Pada permukaan masing-masing spesimen juga terdapat rongga yang diduga adalah *bifilm*. *Bifilm* terpanjang berturut-turut diperoleh pada spesimen C1, spesimen O2, spesimen B3, dan spesimen A3.

Dari hasil pengamatan diketahui bahwa *bifilm* menjadi *stress concentrator* di dalam material yang dapat dilihat dari fluktuasi ketinggian permukaan patahan dari masing-masing spesimen. Semakin besar *bifilm index* maka akan semakin besar fluktuasi permukaan yang terjadi. Adanya rongga melebar pada permukaan patahan spesimen kemungkinan akibat bertemunya *crack* pada saat proses perambatan *crack* yang dimulai dari *bifilm*. Adanya rongga pada spesimen O2 diduga akibat proses permesinan yang kurang baik karena jarak yang sangat dekat dengan diameter luar dari spesimen dan posisi yang bersebelahan karena dari hasil uji RPT dan potongan melintang didapati tidak adanya *bifilm* secara kasat mata.

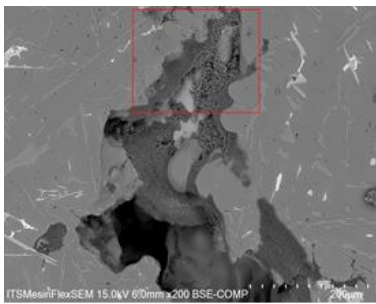
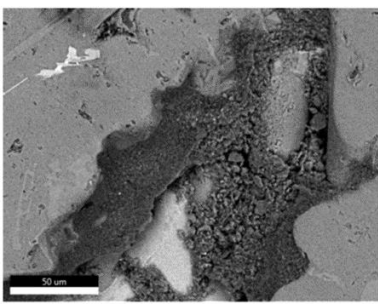
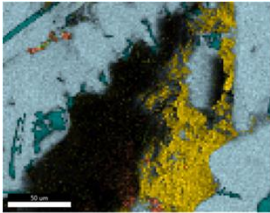
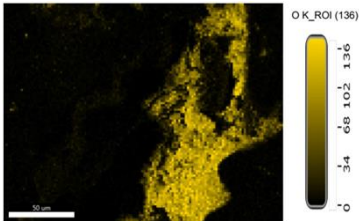
4.6 Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy-dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

Pengujian SEM dan EDS dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa rongga yang ada pada material yang diuji adalah *bifilm*. Pengujian dilakukan pada 2 patahan spesimen tarik yaitu spesimen A1 dan C1, dan 2 spesimen RPT yaitu spesimen A dan C. Hasil SEM dan EDS dari spesimen RPT A dan B dapat dilihat pada tabel 4.12 dan 4.13.

Tabel 4. 17 SEM dan EDS Hasil RPT Spesimen A

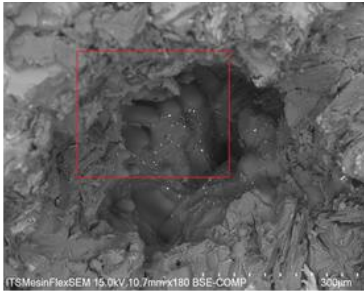
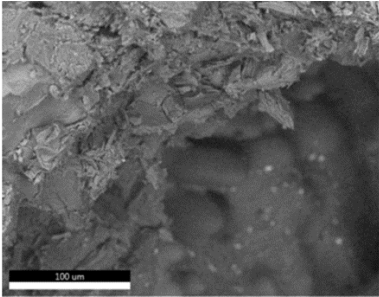
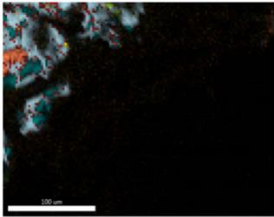
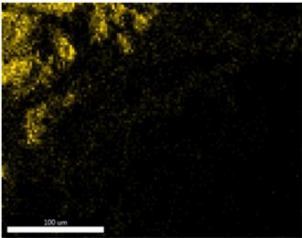
Hasil RPT Spesimen A (Tanpa Pengadukkan)	
Gambar Keseluruhan (Perbesaran 70x)	Area Tertentu (Perbesaran 150x)
	
Mapping EDS Keseluruhan	Mapping EDS Individual
 <div><ul style="list-style-type: none">8% O K1% MgK74% AlK14% SiK1% FeK1% CuK1% ZnK</div>	 <div><p>O K_ROI (111)</p><p>0 2.7 5.4 8.1 11.1</p></div>

Tabel 4. 18 SEM dan EDS Hasil RPT Spesimen C

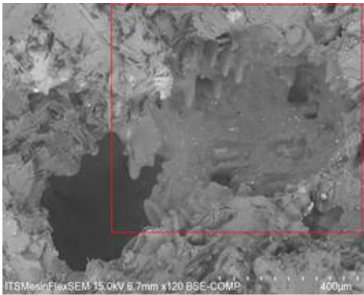
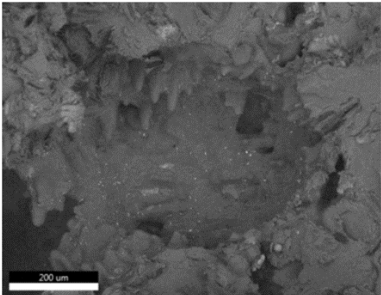
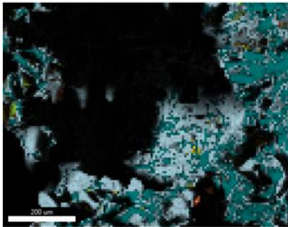
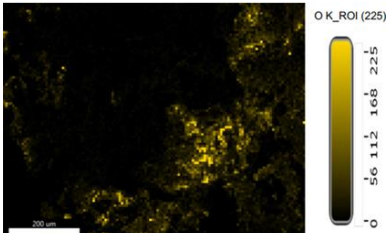
Hasil RPT Spesimen C (Pengadukkan 5 Menit)	
Gambar Keseluruhan (Perbesaran 70x)	Area Tertentu (Perbesaran 150x)
	
Mapping EDS Keseluruhan	Mapping EDS Individual
 <div data-bbox="420 724 520 906"><ul style="list-style-type: none">12% O K1% MgK76% AlK6% SiK3% FeK1% CuK</div>	

Data utama yang ingin diperoleh dari pengamatan SEM dan EDS ini adalah adanya oksida di sekeliling *bifilm* yang terbentuk yang dapat dibuktikan dengan adanya unsur oksigen (O) pada hasil *mapping* EDS unsur individual. Pada Spesimen A hasil *mapping* menunjukkan bahwa unsur oksigen tersebar hampir merata di sekeliling *bifilm* yang diobservasi dan memiliki persentase 8%, persentase yang cukup besar dibandingkan dengan kadar unsur lain. Pada Spesimen C hasil *mapping* juga menunjukkan adanya unsur oksigen di sekitar *bifilm* yang diobservasi namun persebarannya lebih terpusat ke satu area. Untuk hasil SEM dan EDS dari spesimen uji tarik A1 dan C1 dapat dilihat pada tabel 4.14 dan 4.15.

Tabel 4. 19 SEM dan EDS Hasil Uji Tarik Spesimen A

Hasil Uji Tarik Spesimen A (Tanpa Pengadukkan)	
Gambar Keseluruhan (Perbesaran 70x)	Area Tertentu (Perbesaran 150x)
	
Mapping EDS Keseluruhan	Mapping EDS Individual
 <div data-bbox="456 719 560 906"><ul style="list-style-type: none">2% O K2% MgK59% AlK35% SiK1% FeK1% CuK</div>	 <div data-bbox="910 711 981 933"><p>O K_ROI (33)</p><p>0 1 2 3</p></div>

Tabel 4. 20 SEM dan EDS Hasil Uji Tarik Spesimen C

Hasil Uji Tarik Spesimen C (Pengadukkan 5 Menit)	
Gambar Keseluruhan (Perbesaran 70x)	Area Tertentu (Perbesaran 150x)
	
Mapping EDS Keseluruhan	Mapping EDS Individual
 <div data-bbox="428 715 537 911"><ul style="list-style-type: none">4% O K1% MgK61% AlK30% SiK2% FeK2% CuK</div>	

Pada hasil *mapping* EDS spesimen uji tarik A1 dan C1 dapat dilihat bahwa unsur oksigen tersebar hampir merata pada *bifilm* yang diobservasi dan berturut-turut memiliki persentase sebesar 2% dan 4 %. Adanya unsur oksigen di sekitar luasan yang diobservasi menunjukkan bahwa adanya oksida di area tersebut, hal ini mengindikasikan bahwa luasan tersebut adalah *bifilm*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan mengenai pengaruh *bifilm* terhadap kekuatan tarik, *impact strength*, dan kekerasan dari hasil pengecoran paduan aluminium ADC12, yaitu:

1. Hasil *Reduced Pressure Test* (RPT) menunjukkan bahwa variabel lama pengadukkan dapat memberikan pengaruh terhadap nilai *bifilm index* dari aluminium ADC12 hasil pengecoran. Nilai *bifilm index* akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu pengadukkan. Pada waktu pengadukkan tertentu (5 menit), nilai *bifilm index* akan meningkat secara signifikan.
2. Dari hasil uji tarik, *impact*, dan kekerasan diketahui bahwa:
 - Semakin tinggi nilai *bifilm index* maka kekuatan tarik semakin menurun.
 - Pada nilai *bifilm index* 154.899 (Spesimen B) mulai terjadi penurunan *impact strength*.
 - Semakin tinggi nilai *bifilm index* maka kekerasan material akan semakin menurun.
 - Semakin banyak jumlah *bifilm* dalam material, maka akan semakin kecil luasan yang terkena gaya karena material menjadi tidak solid, selain itu material juga akan menjadi heterogen karena adanya oksida disekitar *bifilm*. Hal ini menyebabkan penurunan nilai kekerasan dan *impact strength*.
 - *Bifilm* bertindak sebagai *stress concentration* dan *crack initiation* yang akan mempermudah perambatan *crack* dalam material sehingga material tersebut akan lebih mudah mengalami *fracture*. Hal ini menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan *impact strength*.

3. Dari hasil pengamatan visual didapati bahwa hasil dari RPT mencerminkan hasil akhir dari pengecoran spesimen. Dari pengamatan juga diketahui bahwa *bifilm* menjadi *stress concentration* di dalam material yang dapat dilihat dari fluktuasi ketinggian permukaan patahan dari masing-masing spesimen. Semakin besar *bifilm index* maka akan semakin besar fluktuasi permukaan yang terjadi. Adanya rongga melebar pada permukaan patahan spesimen kemungkinan akibat bertemunya *crack* pada saat proses perambatan *crack* yang dimulai dari *bifilm*.
4. Pada hasil *mapping* EDS dapat dilihat bahwa unsur oksigen tersebar hampir merata pada *bifilm* yang diobservasi. Adanya unsur oksigen di sekitar luasan yang diobservasi menunjukkan bahwa adanya oksida di area tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa rongga yang diobservasi adalah *bifilm*.

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan analisa terhadap paduan aluminium, nilai *bifilm index*, serta sifat mekanik yang berbeda untuk mengetahui respon *bifilm* terhadap variabel lain. Untuk memperoleh sifat mekanik yang baik pada hasil pengecoran aluminium ADC12 maka jumlah *bifilm* di dalam material harus dibuat seminimal mungkin. Hal ini dapat dicapai dengan menghindari olakkan akibat proses seperti pengadukkan yang terlalu cepat dan tidak beraturan, dan penuangan aluminium cair dari titik yang terlalu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Lumley, *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Cambridge: Woodhead Publishing, 2011.
- [2] "Aluminium," 2017. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pertab/al.html>.
- [3] I. Polmear, *Light Alloys 4th Edition*, Butterworth-Heinemann, 2006.
- [4] "Material Information Aluminium Casting Metals 383," [Online]. Available: <https://www.dynacast.com/383>. [Accessed 2018].
- [5] D. Dispinar, "Determination of Quality of Aluminium and Its," University of Birmingham, Birmingham, 2005.
- [6] J. Campbell, *Complete Casting Handbook*, Oxford: Elsevier, 2011.
- [7] R. Otsuka, "Molten Metal Processing," in *Handbook of Aluminium Volume 1 : Physical Metallurgy and Processes*, New York, Marcel Dekker Inc., 2003, pp. 643-694.
- [8] T. Surdia, *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta: PT Balai Pustaka (Persero), 2013.
- [9] S. R. Sama and G. P. Manogharan, *Sand Casting Design Rules*, Pennsylvania: Pennsylvania State University, 2017.
- [10] ASM International, *Casting Design and Performance*, Ohio: ASM International, 2009.
- [11] "Fundamentals of Metal Casting - Part 1," 2012. [Online]. Available: <http://www.doyouknow.in/Articles/Engineering/Fundamentals-Of-Metal-Casting-Part-1.aspx>.
- [12] R. T. Patil, V. S. Metri and S. S. Tambore, "Causes of Casting Defects with Remedies," *International Journal of Reseach in Advent Technology*, Shegaon, 2014.
- [13] "Steemit," 2017. [Online]. Available: <https://steemit.com/forge/@cynetyc/melting-metals-aluminum-dross-dont-throw-it..>

- [14] "Salamander Super A10 Crucible," [Online]. Available: <https://pmcsupplies.com/media/catalog/product/cache/4/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/r/cru-0097.jpg>. [Accessed 2018].
- [15] D. Dispinar and J. Campbell, "Reduced Pressure Test (RPT) for Bifilm Assessment," in *Shape Casting: 5th International Symposium 2014*, The Minerals, Metals & Materials Society, 2014, pp. 243-251.

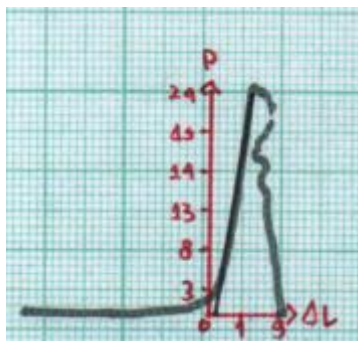
(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

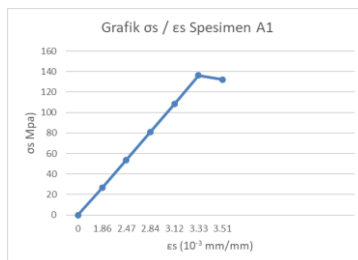
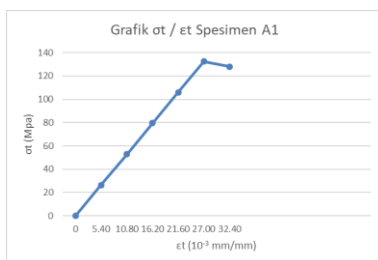
LAMPIRAN A Grafik Uji Tarik

P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	50	152.46385	0	0	0	0	152.46385	50
4.04	0.27	50	152.46385	5.40	26.50	1.86	26.64	151.6449672	50.27
8.08	0.54	50	152.46385	10.80	53.00	2.47	53.57	150.8348338	50.54
12.12	0.81	50	152.46385	16.20	79.49	2.84	80.78	150.0333104	50.81
16.16	1.08	50	152.46385	21.60	105.99	3.12	108.28	149.2402604	51.08
20.20	1.35	50	152.46385	27.00	132.49	3.33	136.07	148.4555501	51.35
19.53	1.62	50	152.46385	32.40	128.07	3.51	132.22	147.6790488	51.62

Skala X: 0.27 Skala Y: 0.673333333

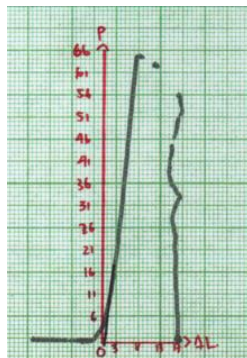


Grafik P/ ΔL Spesimen A1

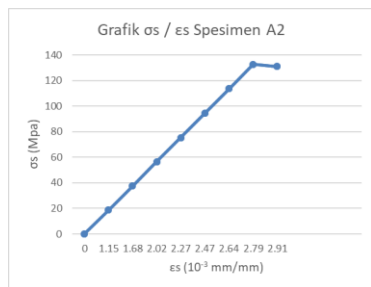
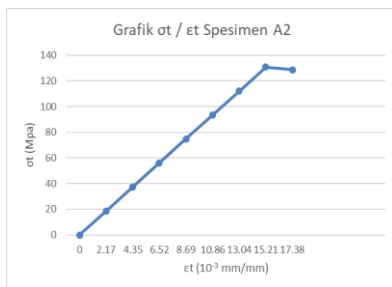


P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	100.1	314.915	0	0	0	0	314.9146	100.1
5.885714	0.22	100.1	314.915	2.17	18.68987429	1.15	18.73048416	314.2318285	100.3175
11.77143	0.44	100.1	314.915	4.35	37.37974858	1.68	37.54218804	313.5520113	100.535
17.65714	0.65	100.1	314.915	6.52	56.06962287	2.02	56.43511167	312.8751293	100.7525
23.54286	0.87	100.1	314.915	8.69	74.75949716	2.27	75.40925502	312.2011633	100.97
29.42857	1.09	100.1	314.915	10.86	93.44937144	2.47	94.46461811	311.5300947	101.1875
35.31429	1.31	100.1	314.915	13.04	112.1392457	2.64	113.6012009	310.8619048	101.405
41.2	1.52	100.1	314.915	15.21	130.82912	2.79	132.8190035	310.1965752	101.6225
40.54603	1.74	100.1	314.915	17.38	128.7524673	2.91	130.9905222	309.5340874	101.84

Skala X: 0.2175 Skala Y: 0.65397

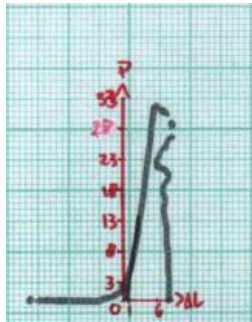


Grafik P/ ΔL Spesimen A2

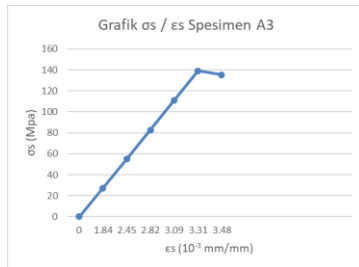
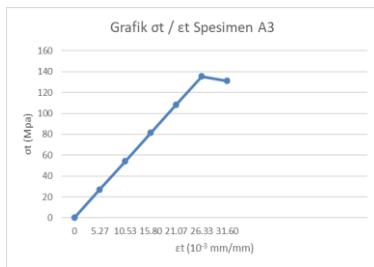


P (kN)	ΔL (mm)	Lo (mm)	Ao (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	As (mm ²)	Ls (mm)
0	0	50	154.881	0	0	0	0	154.881	50
4.2	0.26	50	154.881	5.27	27.11755	1.84	27.26	154.0698	50.26333
8.4	0.53	50	154.881	10.53	54.2351	2.45	54.81	153.2668	50.52667
12.6	0.79	50	154.881	15.80	81.35265	2.82	82.64	152.4722	50.79
16.8	1.05	50	154.881	21.07	108.4702	3.09	110.76	151.6857	51.05333
21	1.32	50	154.881	26.33	135.5877	3.31	139.16	150.9074	51.31667
20.3	1.58	50	154.881	31.60	131.0682	3.48	135.21	150.1369	51.58

Skala X: 0.26333 Skala Y: 0.7

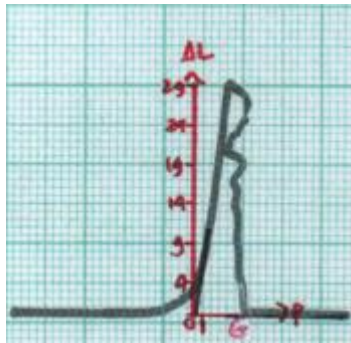


Grafik P/ ΔL Spesimen A3

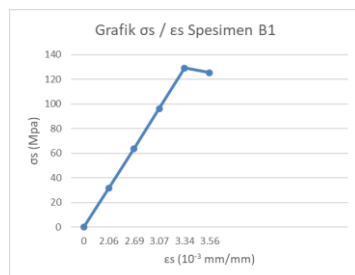
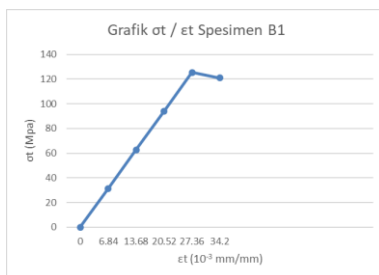


P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	50	152.902	0	0	0	0	152.902	50
4.8	0.34	50	152.902	6.84	31.39266407	2.06	31.60738989	151.8632	50.342
9.6	0.68	50	152.902	13.68	62.78532813	2.69	63.64423142	150.8385	50.684
14.4	1.03	50	152.902	20.52	94.1779922	3.07	96.1105246	149.8275	51.026
19.2	1.37	50	152.902	27.36	125.5706563	3.34	129.0062694	148.83	51.368
18.51429	1.71	50	152.902	34.2	121.08599	3.56	125.2271308	147.8456	51.71

Skala X: 0.342 Skala Y: 0.68571

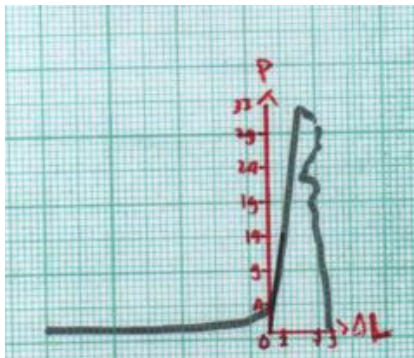


Grafik P/ ΔL Spesimen B1

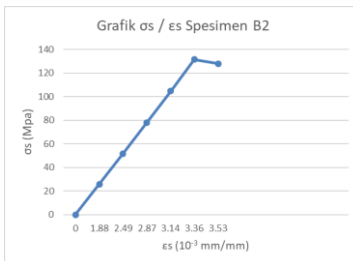
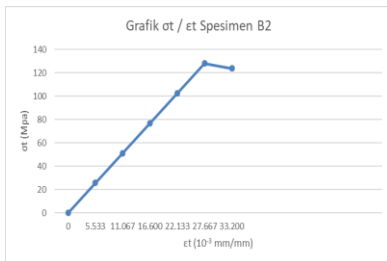


P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	ϵt (mm/mm)	σt (Mpa)	ϵs (mm/mm)	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	50	150.06546	0	0	0	0	150.06546	50
3.84	0.28	50	150.06546	5.533	25.588834	1.88	25.730425	149.239664	50.276667
7.68	0.55	50	150.06546	11.067	51.177667	2.49	51.744033	148.42291	50.553333
11.52	0.83	50	150.06546	16.600	76.766501	2.87	78.040824	147.615047	50.83
15.36	1.11	50	150.06546	22.133	102.35533	3.14	104.6208	146.815931	51.106667
19.2	1.38	50	150.06546	27.667	127.94417	3.36	131.48396	146.025421	51.383333
18.56	1.66	50	150.06546	33.200	123.67936	3.53	127.78552	145.243377	51.66

Skala X: 0.276666667 Skala Y: 0.64



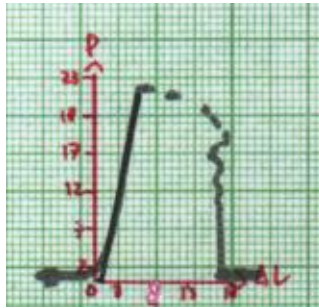
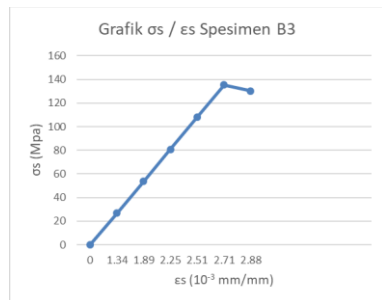
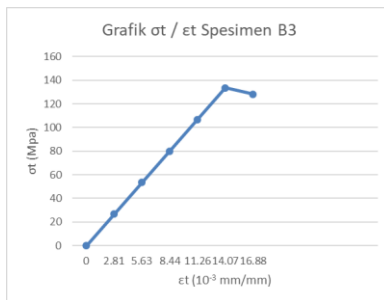
Grafik P/ ΔL Spesimen B2



P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	100.1	314.9146	0	0	0	0	314.9146	100.1
8.4	0.28	100.1	314.9146	2.81	26.67389826	1.34	26.74895468	314.030963	100.38167
16.8	0.56	100.1	314.9146	5.63	53.34779651	1.89	53.64802221	313.152271	100.66333
25.2	0.85	100.1	314.9146	8.44	80.02169477	2.25	80.69720258	312.278483	100.945
33.6	1.13	100.1	314.9146	11.26	106.695593	2.51	107.8964958	311.409557	101.22667
42	1.41	100.1	314.9146	14.07	133.3694913	2.71	135.2459019	310.545454	101.50833
40.32	1.69	100.1	314.9146	16.88	128.0347116	2.88	130.1963366	309.686133	101.79

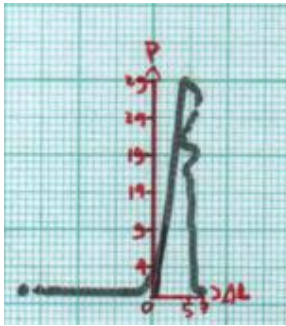
Skala X: 0.28167

Skala Y: 1.68

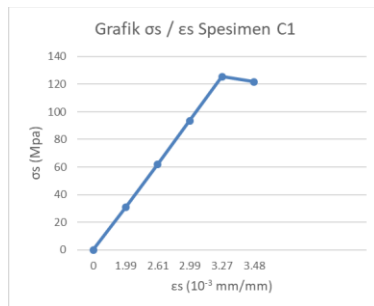
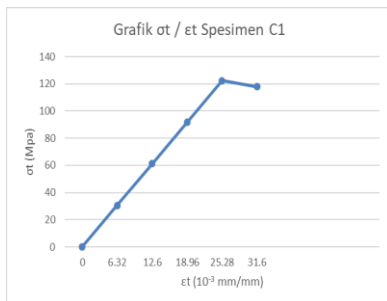
Grafik P/ ΔL Spesimen B3

P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	50	152.909	0	0	0	0	152.9092	50
4.68	0.32	50	152.909	6.32	30.57	1.99	30.77	151.94888	50.316
9.35	0.63	50	152.909	12.6	61.15	2.61	61.92	151.000549	50.632
14.03	0.95	50	152.909	18.96	91.72	2.99	93.46	150.063983	50.948
18.70	1.264	50	152.909	25.28	122.29	3.27	125.39	149.138963	51.264
18.03	1.58	50	152.909	31.6	117.93	3.48	121.65	148.225278	51.58

Skala X: 0.316 Skala Y: 0.667857143

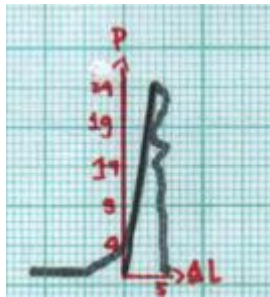


Grafik P/ ΔL Spesimen C1

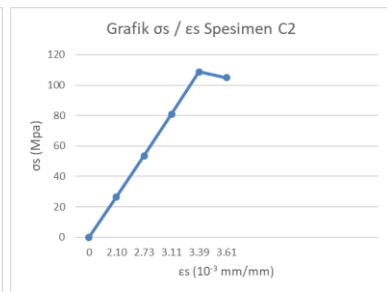
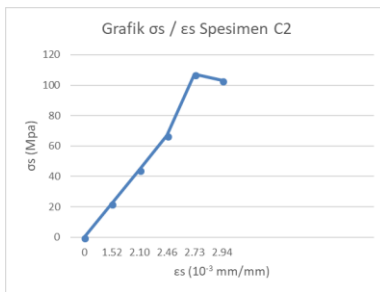


P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t(10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s(10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	50	152.909	0	0	0	0	152.9092	50
4.68	0.32	50	152.909	6.32	30.57	1.99	30.77	151.94888	50.316
9.35	0.63	50	152.909	12.6	61.15	2.61	61.92	151.000549	50.632
14.03	0.95	50	152.909	18.96	91.72	2.99	93.46	150.063983	50.948
18.70	1.264	50	152.909	25.28	122.29	3.27	125.39	149.138963	51.264
18.03	1.58	50	152.909	31.6	117.93	3.48	121.65	148.225278	51.58

Skala X: 0.316 Skala Y: 0.66786



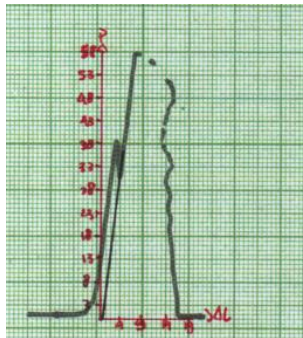
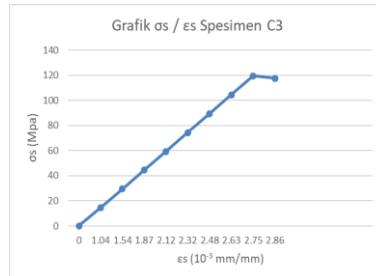
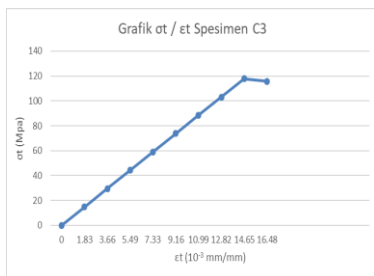
Grafik P/ ΔL Spesimen C2



P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	100.1	309.589	0	0	0	0	309.58911	100.1
4.56	0.18	100.1	309.589	1.83	14.74	1.04	14.76	309.0231307	100.283333
9.13	0.37	100.1	309.589	3.66	29.47	1.54	29.58	308.4592198	100.466667
13.69	0.55	100.1	309.589	5.49	44.21	1.87	44.45	307.8973633	100.65
18.25	0.73	100.1	309.589	7.33	58.95	2.12	59.38	307.33755	100.833333
22.81	0.92	100.1	309.589	9.16	73.69	2.32	74.36	306.7797686	101.016667
27.38	1.10	100.1	309.589	10.99	88.42	2.48	89.40	306.2240081	101.2
31.94	1.28	100.1	309.589	12.82	103.16	2.63	104.48	305.6702576	101.383333
36.50	1.47	100.1	309.589	14.65	117.90	2.75	119.63	305.1185063	101.566667
35.85	1.65	100.1	309.589	16.48	115.79	2.86	117.70	304.5687432	101.75

Skala X: 0.18333

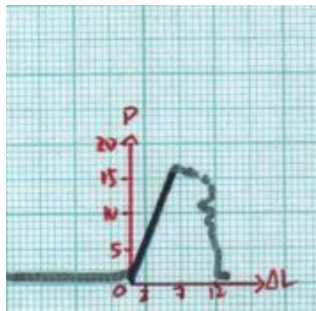
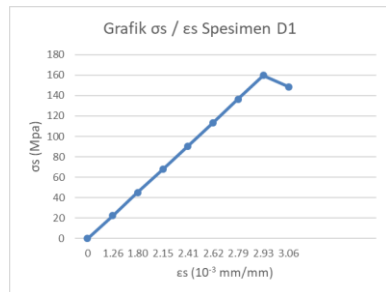
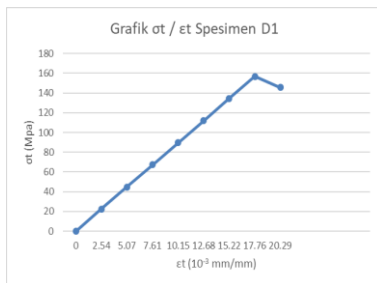
Skala Y: 0.65

Grafik P/ ΔL Spesimen C3

P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s (10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	60.12	155.544	0	0	0	0	155.5439	60.12
3.485714	0.15	60.12	155.544	2.54	22.41	1.26	22.47	155.1503466	60.2725
6.971429	0.31	60.12	155.544	5.07	44.82	1.80	45.05	154.7587798	60.425
10.45714	0.46	60.12	155.544	7.61	67.23	2.15	67.74	154.3691844	60.5775
13.94286	0.61	60.12	155.544	10.15	89.64	2.41	90.55	153.9815457	60.73
17.42857	0.76	60.12	155.544	12.68	112.05	2.62	113.47	153.5958489	60.8825
20.91429	0.92	60.12	155.544	15.22	134.46	2.79	136.51	153.2120794	61.035
24.4	1.07	60.12	155.544	17.76	156.87	2.93	159.65	152.830223	61.1875
22.65714	1.22	60.12	155.544	20.29	145.66	3.06	148.62	152.4502652	61.34

Skala X: 0.1525

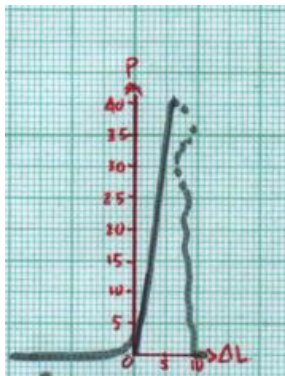
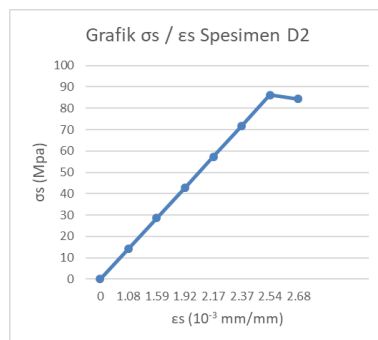
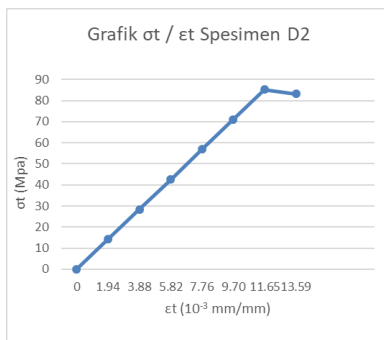
Skala Y: 1.74286

Grafik P/ ΔL Spesimen D1

P (kN)	ΔL (mm)	L_0 (mm)	A_0 (mm)	$\epsilon t(10^{-3} \text{ mm/mm})$	σt (Mpa)	$\epsilon s(10^{-3} \text{ mm/mm})$	σs (Mpa)	A_s (mm ²)	L_s (mm)
0	0	60.04	155.986	0	0	0	0	155.9864	60.04
4.4	0.19	100.1	309.589	1.94	14.21239	1.08	14.2399714	308.98938	100.29429
8.8	0.39	100.1	309.589	3.88	28.42477	1.59	28.5351129	308.39198	100.48857
13.2	0.58	100.1	309.589	5.82	42.63716	1.92	42.8854245	307.79688	100.68286
17.6	0.78	100.1	309.589	7.76	56.84955	2.17	57.2909062	307.20408	100.87714
22	0.97	100.1	309.589	9.70	71.06193	2.37	71.751558	306.61355	101.07143
26.4	1.17	100.1	309.589	11.65	85.27432	2.54	86.2673799	306.02529	101.26571
25.77143	1.36	100.1	309.589	13.59	83.24398	2.68	84.3749643	305.43928	101.46

Skala X: 0.19429

Skala Y: 0.62857

Grafik P/ ΔL Spesimen D2

LAMPIRAN B**Tabel Perhitungan Bifilm Index**

Panjang Pori (mm)		
A (Tanpa Pengadukan)	B (3 menit)	C (5 Menit)
0.436	0.37	2.334
0.621	0.499	0.498
0.324	0.185	0.389
0.737	0.207	1.082
1.201	0.439	1.956
0.494	1.311	2.064
0.469	0.827	0.869
1.319	1.393	1.710
1.148	1.827	0.447
0.629	1.863	2.434
1.421	0.765	1.154
0.178	0.593	0.898
0.262	0.52	1.124
0.304	0.616	1.214
0.469	0.746	1.027
0.618	0.692	0.501
0.701	0.612	1.034
0.611	0.715	1.048
0.469	0.99	1.089
0.089	0.794	1.160
0.193	1.157	1.189
2.72	1.581	0.873
0.322	0.269	0.756

1.104	0.267	0.988
1.245	0.186	1.268
0.77	0.788	1.277
1.169	0.285	1.136
0.299	1.075	1.163
0.788	0.402	0.901
0.874	0.355	0.881
1.357	0.234	0.778
0.581	0.232	0.611
0.411	0.636	0.336
0.835	0.522	0.317
0.802	1.05	0.33
0.734	0.369	0.34
0.812	1.517	0.799
0.687	0.868	0.597
0.2	2.501	0.959
1.535	1.97	0.875
0.547	0	0.906
2.04	1.509	0.809
1.634	1.267	0.708
0.169	0.251	1.205
0.285	0.217	0.988
0.282	0.381	0.524
0.657	0.39	1.094
0.249	0.787	0.805
0.243	0.461	0.556
0.521	0.22	0.277
0.331	0.587	0.385
0.387	1.453	1.169

1.482	0.838	0.722
1.464	0.443	0.988
1.248	1.068	0.446
0.711	2.493	1.021
1.247	0.737	2.303
0.536	0.307	1.913
1.151	0.825	1.531
1.125	0.924	1.520
1.149	0.255	1.238
1.017	0.435	3.131
0.9	0.785	0.902
0.877	1.884	1.942
0.514	0.834	0.302
0.579	1.513	0.314
0.38	0.729	1.660
2.002	0.212	2.236
0.23	1.604	1.157
1.256	0.412	0.56
0.734	0.415	0.219
0.591	1.718	0.648
0.305	1.094	0.302
0.286	0.842	0.219
0.624	1.35	0.209
1.122	0.432	1.657
0.729	0.5	3.161
0.716	0.74	2.048
0.942	0.388	0.767
0.55	1.037	0.931
1.452	3.896	0.161

0.693	1.383	0.274
1.134	0.603	1.639
1.112	0.963	1.412
0.187	1.64	1.526
0.614	0.343	1.371
0.932	0.448	1.152
0.642	0.791	1.018
0.509	1.984	0.944
0.286	0.686	2.179
0.333	2.693	2.031
1.048	1.048	0.976
1.087	1.08	0.948
1.927	0.493	2.832
1.267	0.456	1.816
2.275	0.731	2.219
2.628	0.567	1.582
0.262	0.778	1.409
0.304	0.145	0.951
0.922	0.307	1.616
0.572	1.509	0.962
0.578	3.204	1.974
0.613	0.891	0.394
1.829	1.221	0.331
1.33	1.088	1.452
1.587	0.224	3.329
1.094	0.95	1.307
0.954	2.595	0.469
0.625	1.315	1.403
1.173	0.604	3.065

0.945	2.689	1.035
0.886	2.276	1.158
0.409	1.181	0.287
0.491	0.913	0.219
0.236	0.646	1.666
0.638	1.226	0.136
2.217	0.539	1.349
0.269	0.36	1.044
0.2	0.848	2.273
1.67	0.216	1.786
1.228	0.217	0.793
1.18	0.156	1.304
1.166	0.812	1.356
1.143	0.856	1.890
0.225	0.706	1.396
1.018	1.183	0.704
0.764	0.879	0.83
0.624	0.912	0.496
0.814	1.211	0.932
0.356	0.556	0.317
1.215	0.649	0.093
0.756	0.909	0.192
0.997	0.164	0.246
0.856	0.204	0.416
1.106	0.658	0.445
0.874	0.468	0.253
0.528	0.415	0.231
0.587	0.307	1.296
0.261	1.506	0.596

0.284	0.169	0.384
0.294	1.004	1.106
0.198	0.117	2.785
0.156	0.679	1.022
0.159	1.102	0.653
1.145	0.673	1.776
0.491	0.609	3.432
0.289	0.582	1.387
0.289	0.648	1.014
0.274	0.608	0.768
1.061	0.78	0.737
0.224	0.488	1.207
0.38	0.714	2.313
0.523	0.546	2.020
1.455	0.397	1.284
1.684	1.042	1.206
0.426	1.408	1.533
1.144	0.183	1.040
1.28	0.717	0.554
0.345	1.612	0.753
1.95	1.753	0.758
1.383	1.293	0.852
1.257	2.246	0.941
0.905	0.558	0.921
1.186	0.452	0.831
0.341	0.93	0.249
1.439	1.229	0.159
0.954	0.752	0.568
1.006	0.508	1.669

1.206	0.301	1.904
0.485	0.173	1.811
0.848	0.115	0.337
0.998	0.19	0.602
0.777	0.948	0.929
0.292	0.35	1.367
0.675	0.186	1.457
0.614	0.212	1.075
0.625	0.999	0.947
0.701	0.239	0.748
0.146	1.416	0.894
0.457	1.718	0.548
0.452	0.822	0.797
0.208	0.272	0.531
0.595	0.296	0.637
0.83	-	0.848
0.248	-	0.949
1.148	-	0.463
0.218	-	0.975
0.258	-	0.532
0.378	-	1.933
0.515	-	0.22
0.521	-	0.728
0.799	-	0.991
-	-	1.376
-	-	1.558
-	-	0.642
-	-	1.884
-	-	0.293

151.894	154.899	213.258
---------	---------	---------

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 06 Januari 1996 dengan nama **Leonard**. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu SDK Triana, SMP Marsudirini Bekasi, SMA Marsudirini Bekasi. Selepas SMA penulis melanjutkan studinya di jurusan S1 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di CNOOC SES. LTD. di divisi *Mechanical Maintenance* selama 1 bulan dengan tugas menganalisa *maintenance plan* dari salah satu kompresor gas.

Penulis aktif di berbagai kegiatan ekstrakurikuler. Pada saat kuliah aktif di Mesin Music Club (MMC) dan ITS Model United Nation Club. Prestasi yang pernah diraih antara lain menjadi juara 1 kompetisi Lomba Rancang Bangun Mesin Nasional yang diselenggarakan oleh BKSTM, Juara 2 VESTMUN, Juara 1 FTI Debate Competition, dan terpilih mewakili ITS untuk berlomba di Harvard Model United Nation di Amerika.

Email: leonard.marsudirini@gmail.com